

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания, комплексов и систем»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Вентильный электропривод жидкостного насоса системы кондиционирования автономных объектов

УДК 621.926-868:691

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Данекер В.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

Профиль – Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания, комплексов и систем

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения

(Подпись) (Дата) Дементьев Ю.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Сотникову Николаю Владимировичу

Тема работы:

Вентильный электропривод жидкостного насоса системы кондиционирования автономных объектов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 07.02.2018 года № 795/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> Напряжение питания переменного тока - В 380В, 50 Гц; Номинальная частота вращения электродвигателя – 3000 об/мин; Диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя – 300-3000 об/мин; Номинальная мощность электропривода (при номинальной частоте вращения) – 5,5 кВт; Пусковой ток не более – 90А; Режим работы - S1; Характер нагрузки – вентиляторный (момент пропорционален квадрату частоты вращения).
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Анализ технического задания. 2. Математическое моделирование имитационной модели в пакете MATLAB 3. Исследование имитационной модели вентильного электропривода.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Бородин Ю.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Данекер В.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистрант	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. <i>Определить затраты на разработку проекта, в которую входят:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Материалы и покупные изделия - Заработная плата - Отчисления в социальные фонды - Прочие и накладные расходы 2. <i>Для исследования необходимо два человека: научный руководитель, студент.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Расчет затрат по отчислениям на социальные нужды</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Не разрабатывается</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Планирование управления проектом, определение трудоемкости работ, календарный план, бюджет затрат на разработку проекта, расчет материальных затрат, расчет затрат на оплату труда, расчет накладных расходов, расчет прочих затрат</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определить ресурсную и экономическую эффективность проекта.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Линейный график работ.</i> 2. <i>Структура затрат себестоимости проекта.</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования –
вентильный электропривод
жидкостного насоса.

Рабочая зона – насосный цех.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

Вредные факторы:

– Напряженность электрического поля (ГОСТ 12.1.002-84) в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц не более 25 В/м, в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц не более 2.5 В/м;

– Шум (ГОСТ 12.1.003-2014) не более 50 дБА;

– Освещенность рабочей поверхности (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03) 150 лк, 300÷500лк при работе на ЭВМ;

Опасные факторы:

– Механические опасности (движущиеся части механизмов, станки);

– Термические опасности (система отопления, паропровод, котлы);

– Электробезопасность (электрооборудование, генераторы, трансформаторы, токоведущие части);

– Пожаровзрывобезопасность (ГОСТ 12.1.010–76).

– Средства защиты: пожарные щиты, огнетушители.

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – Объект находится вне селитебной зоны; – Воздействие объекта на атмосферу нет (выбросов нет); – Воздействия объекта на гидросферу нет (сбросов нет); – Воздействие объекта на литосферу присутствует. Промышленные отходы, образующиеся при поломке ВЭ. – Вышедший из строя ВЭ подлежит переплавке, либо утилизации.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> – Перечень возможных ЧС на объекте: пожар, поражение электрическим током; – Наиболее типичная ЧС – поражение электрическим током; – Соблюдение правил противопожарной безопасности, для предотвращения поражения электрическим током необходимо обеспечить заземление всех частей установки; – Произвести вызов пожарной охраны; проследовать к выходу, согласно плану эвакуации.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Обеспечение условий труда, согласно требованиям техники безопасности и охране труда; – Соблюдение трудового кодекса РФ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания, комплексов и систем»
Уровень образования Магистр
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом работы	19.06.2018г.
-----------------------------	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела модуля
16.04.2018г	Изучение способов управления вентильным электроприводом	
5.05.2018г	Моделирование вентильного электропривода в среде MATLAB	
12.05.2018г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
19.05.2018г	Социальная ответственность	
25.05.2018г	Оформление пояснительной записки	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Данекер В.А.	К.Т.Н., доцент		

Согласовано:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 34 рис., 15 табл., 26 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: вентильный электропривод, вентильный двигатель, насосная установка, датчик положения ротора.

Объектом исследования является вентильный электропривод жидкостного насоса.

Цель работы – исследование различных режимов работы вентильного электропривода.

В процессе исследования проводилось изучение различных способов реализации управления вентильными электроприводами.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	15
1.1 Техническое задание.....	15
1.2 Выбор типа электропривода	16
1.3. Описание вентильного электропривода, принцип работы	17
1.4 Выбор питающего выпрямителя	23
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	29
2.1. Математическое описание ВД.	29
2.2 Имитационная математическая модель вентильного электропривода с помощью пакета MATLAB	30
3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИТАЮЩЕГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ORCAD	37
3.1 Имитационная модель питающего выпрямителя	38
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	41
4.1. Анализ и оценка научно-технического уровня проекта	41
4.2 Планирование управления проектом	43
4.3 Календарный план	47
4.4 Бюджет затрат на разработку проекта.	49
Выводы по главе 4.....	54
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	56
Введение.....	56
5.1. Описание технологического процесса и рабочего места.....	56

5.2 Вредные производственные факторы	59
5.3 Опасные факторы.....	63
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
Выводы по главе 5.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	75
Приложение А	78

ВВЕДЕНИЕ

Довольно крупную часть потребителей электрической энергии, в современных производственных процессах, представляют электроприводы насосных установок и вентиляторов.

Насосный агрегат – это гидравлическая машина, вызывающая напорное движение жидкости при сообщении ей энергии. Состоит он из электропривода с насосом и передаточным механизмом. *Электропривод* составляет электромеханическая система, состоящая из электродвигателя, преобразователя, передаточного и управляющего устройств, приводящая в движение исполнительный орган рабочей машины и управляющая этим движением. В комплексе оборудование, обеспечивающее работу насоса в требуемом режиме, состоящее из насосного агрегата, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, аппаратуры управления и защиты образуют *насосную установку*.

Для проектирования и создания различных машин, также как обслуживания и эксплуатации, необходимо хорошо знать назначение, как машины в целом, так и отдельных ее элементов.

Одной из областей применения жидкостных насосов является система кондиционирования воздуха, относящаяся к системам жизнеобеспечения, предназначенная для поддержания необходимой и комфортной температуры воздуха.

Устройство и работа кондиционера с водяным охлаждением конденсатора.

Кондиционер с водяным охлаждением конденсатора состоит из наружного блока, конденсатор которого охлаждается жидким теплоносителем (водой или антифризом) и внутреннего блока с воздушным способом распределения охлажденного или нагретого воздуха. Такая конструкция позволяет устанавливать блок внутри помещения, использовать циркулирующий теплоноситель в качестве дополнительного источника тепловой энергии, размещать в местах с повышенным содержанием

мелкодисперсных частиц. Но для систем с водяным охлаждением конденсатора нужно обязательно подводить к месту установки трубную разводку с постоянно циркулирующей жидкостью.[5]

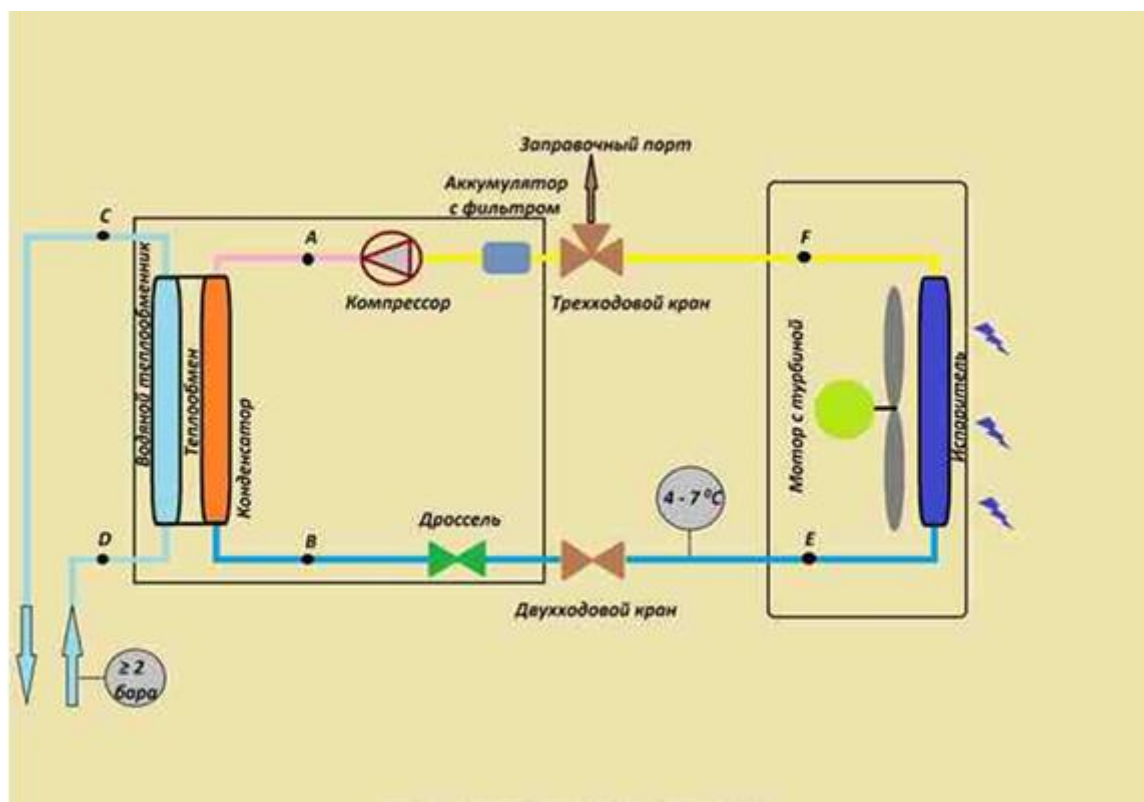


Рис. 1. Структурная схема кондиционера с водяным охлаждением.

Основные узлы кондиционера

Главной особенностью кондиционера вода-воздух от сплит систем воздух-воздух является наличие сдвоенного теплообменника и отсутствие вентилятора в наружном блоке.

Условно холодильную машину можно разделить на гидравлический и электрический узел. Гидравлический узел состоит из:

1. Компрессора – осуществляет перемещение фреона по замкнутому контуру с необходимым для протекания процесса теплообмена давлением.
2. Аккумулятора с фильтром – накапливает хладагент и защищает внутренние детали компрессора от окисления и попадания твердых частиц.

3. Сдвоенного теплообменника – способствует переходу хладагента в жидкое состояние.
4. Дросселирующего устройства – снижает давление жидкого фреона для перехода его в газовое состояние.
5. Испарителя – охлаждает воздух в помещении.
6. Трехходового крана с клапаном – соединяет линию всаса одной части кондиционера с другой, и через него осуществляется заправка фреона.
7. Двухходового крана – соединяет линию нагнетания.
8. Трубной обвязки – соединяет перечисленные компоненты системы в замкнутый контур.

Электрический узел состоит из:

1. Блока управления – организывает работу компрессора и других электрических узлов системы.
2. Мотора с турбиной – осуществляет принудительную циркуляцию охлажденного воздуха.
3. Датчика температуры – контролирует температуру хладагента и воздуха в помещении.
4. Шаговый двигатель – перемещает жалюзи для изменения направления потока воздуха в горизонтальном направлении.

Принцип работы

Принцип работы холодильной машины основан на свойстве жидкого вещества при испарении, интенсивно поглощать тепло, а при конденсации, отдавать тепловую энергию. В роли такого вещества применяется фреон, который производит перенос тепла или холода из одного места в другое. Рассмотрим, как осуществляется теплоперенос между блоками в режиме охлаждения, при работающем компрессоре на участках, указанных на рис. 1.

- «А-В». Газообразный фреон, под высоким давлением перемещаясь по конденсатору, конденсируется и через теплообменники отдает тепло воде.

- «C-D». Вода под давлением не менее 2 бар подается на теплообменник, который плотно соприкасается с конденсатором, нагревается и сбрасывается в систему отопления или другие точки по утилизации тепла.
- «B-E». Жидкий хладагент, проходя через дросселирующее устройство, превращается в смесь, состоящую из газа (20 %) и жидкости (80 %) за счет резкого снижения давления. Газовая фаза способствует охлаждению фреона до 4 – 7 0С.
- «E-F». Охлажденная смесь, двигаясь по испарителю, разогревается из-за поглощения тепловой энергии помещения и в точке «F» переходит в газообразное состояние.
- «F-A». Нагретый газ засасывается компрессором, сжимается и под высоким давлением подается в конденсатор. Цикл замыкается и воспроизводится до обесточивания двигателя компрессора.

Для применения кондиционера в режиме обогрева нужно поменять направление движения хладагента таким образом, чтобы теплообменник внутреннего блока выполнял функцию конденсатора, а наружного – испарителя. Реверсивное движение фреона обеспечивается за счет встроенного в кондиционер с водяным охлаждением конденсатора специального переключателя – четырехходового клапана.[8]

В системах кондиционирования роль жидкостного теплоносителя обычно выполняют дистиллированная вода или антифризы. Антифризы - растворы гликоля (этиленгликоль, пропиленгликоль), на водной основе, при добавлении присадок, они приобретают необходимые технологические свойства, основными из которых являются антикоррозийность и пониженная температура кристаллизации.

Особенности работы электропривода в составе насосной установки

Автономность работы. Для работы насосной установки не требуется постоянное присутствие обслуживающего персонала. Вся его роль сводится периодическому обслуживанию и устранению возможных неисправностей.

Возможность дистанционного контроля и управления. При большом удалении от операторного пульта, остается необходимость постоянного контролирования состояния и выходных параметров работы установки (давление на выходе, объем подачи жидкости и т.д.), также оператор должен иметь возможность их изменения.

Надежность работы. Насосная установка должна сохранять работоспособность при некоторых сбоях в работе системы (кратковременное пропадание напряжения, изменение величины питающего напряжения, временные перегрузки и т.д.).

Электроприводы разделяют на регулируемые и нерегулируемые. Регулируемые ЭП применяют в случаях необходимости приведения в соответствие режим работы насосной установки с системой в целом. Наиболее совершенным среди них является электропривод постоянного тока. В последнее время обычно используют тиристорные преобразователи для питания постоянным напряжением. Также одним из бесколлекторных исполнений двигателя постоянного тока является вентильный электродвигатель. Такие электроприводы называют, соответственно, вентильными. Регулирование в них осуществляется широтно-импульсной модуляцией напряжения, приложенного к статору.

1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1.1 Техническое задание

Настоящее техническое задание распространяется на электропривод, предназначенный для работы в составе герметичного жидкостного электронасоса системы кондиционирования:

- Напряжение питания переменного тока - В 380В, 50 Гц;
- Номинальная частота вращения электродвигателя – 3000 об/мин;
- Диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя – 300-3000 об/мин;

- Номинальная мощность электропривода (при номинальной частоте вращения) – 5,5 кВт;
- Пусковой ток не более – 90А;
- Режим работы - S1;
- Характер нагрузки – Вентиляторный (момент пропорционален квадрату частоты вращения).

1.2 Выбор типа электропривода

Согласно техническому заданию, разрабатываемый электропривод должен иметь следующие основные параметры и конструктивные особенности:

- Отсутствие щеточно-коллекторного узла;
- Высокий пусковой момент;
- Широкий диапазон регулирования, со стабилизацией оборотов вращения ротора;
- Длительный режим работы;

Первым из основных критериев, который резко сузил круг потенциальных типов электроприводов - отсутствие щеточно-коллекторного узла. Выбор сводится к двум типам двигателей: асинхронный с короткозамкнутым ротором и вентильный.

Асинхронный двигатель имеет ряд недостатков, которых лишен вентильный двигатель, а именно:

- Большие пусковые токи, высокая кратность пусковых токов к номинальным, при высоком пусковом моменте;
- Небольшой пусковой момент, опять же попытке при снижении пускового тока;

Исходя из этого, удовлетворяющий требованиям технического задания, выбран вентильный электропривод (ВЭ).

Основные особенности ВЭ

Достоинства:

- быстродействие, точность позиционирования;
- большой диапазон регулирования частоты вращения;
- отсутствие щеточно-коллекторного узла, требующего обслуживания;
- возможность применения в агрессивной и взрывоопасной среде;
- большая перегрузочная способность по моменту;
- высокие энергетические показатели;
- большой ресурс, высокая надёжность работы в связи с отсутствием скользящих электрических контактов;
- невысокая теплонагруженность.

Недостатки:

- сложная система управления относительно других типов ;
- высокая цена, вследствие сложной электронной системы управления;[3]

Однако, при регулировании оборотов любым из существующих типов электродвигателей применение дорогостоящей электронной системы управления неизбежно.

1.3. Описание вентильного электропривода, принцип работы

Вентильный электропривод является продолжением развития машины постоянного тока. Но этот двигатель не стоит считать новинкой. Идея двигателя без щеточно-коллекторного узла возникла еще на заре электричества, но из-за неготовности технологий не применялась. Первую схему ВД предложил Керн в 1933 году. Тогда в качестве силовых ключей применялся механический коммутатор. В 1962 году появился первый промышленный бесколлекторный двигатель постоянного тока. Бурное развитие началось 20-30 лет назад, ставшее возможным в связи с развитием электроники, в частности с появлением силовых полупроводниковых приборов. Также значительную роль сыграло появление мощных неодимовых магнитов, представляющих собой сплав редкоземельного

элемента неодима, бора и железа, известных своей мощностью притяжения и стойкостью к размагничиванию.

Вентильный двигатель также называют бесколлекторным двигателем постоянного тока, в зарубежной литературе BLDCM (BrushLess Direct Current Motor) или PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)[11]. В отличие от двигателя постоянного тока, роль щеточно-коллекторного узла здесь выполняют силовые полупроводниковые ключи, поочередно переключаящие обмотки статора в зависимости от положения ротора.

Конструктивно ВД состоит из ротора с постоянными магнитами и статора с обмотками (рис. 1).

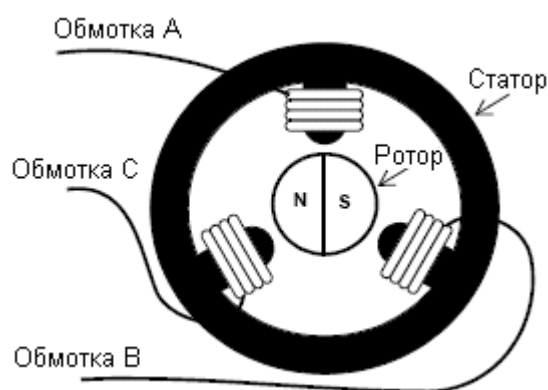


Рис.1.1. Вентильный двигатель

В совокупности, вентильный электропривод представляет собой комплекс электромеханических устройств, сочетающий в себе простейшую электрическую машину и электронную систему управления.

Преимущества и недостатки

В конструкции двигателя отсутствует довольно сложный щеточно-коллекторный узел. Конструкция двигателя существенно упрощается. Двигатель получается легче и компактнее. Значительно уменьшаются потери на коммутацию, поскольку контакты коллектора и щетки заменяются электронными ключами. В итоге получаем электродвигатель с наилучшими показателями КПД и показателем мощности на килограмм собственного веса, с наиболее широким диапазоном изменения скорости вращения. На практике бесколлекторные двигатели греются меньше, чем их коллекторные

братья. Переносят большую нагрузку по моменту. Применение мощных неодимовых магнитов сделали бесколлекторные двигатели еще более компактными. Конструкция бесколлекторного двигателя позволяет эксплуатировать его в воде и агрессивных средах (разумеется, только двигатель, регулятор мочить будет очень дорого). Бесколлекторные двигатели практически не создают радиопомех.[3]

Единственным недостатком является сложный дорогостоящий электронный блок управления (регулятор или ESC). Однако, если вы хотите управлять оборотами двигателя, без электроники никак не обойтись. Так как надо управлять оборотами бесколлекторного двигателя, без электронного блока управления все равно не обойтись. Бесколлекторный двигатель без электроники – просто железка. Нет возможности подать на него напряжение и добиться нормального вращения как у других двигателей.

Принцип действия

Когда по рамке течет электрический ток (см. рис.1) возникает момент вращения:

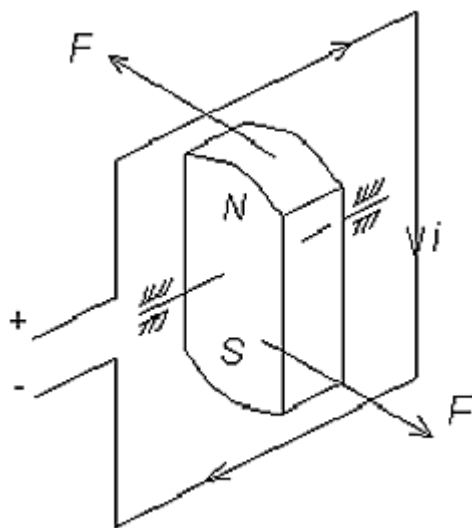


Рис.1.2. Формирование вращающего момента.

$$M = \frac{B \cdot S \cdot W \cdot i \cdot \cos \alpha}{9810} \quad (1.1)$$

где: B - магнитная индукция, Тл; W - число витков рамки; S - площадь рамки, i - ток, А; α - угол между намагничивающей силой и рамкой с током.

Момент вращает ротор (из постоянного постоянный магнита) на 90° . В статоре вентильного электропривода размещаются 3 обмотки подключающиеся в зависимости от положения ротора. При неизменном питающем напряжении скорость неизменна. Момент также зависит от напряжения. Управление осуществляется подключением обмоток транзисторными ключами. Если условно принять за положительное напряжение вращения вала направление вращения против часовой стрелки, то момент на валу двигателя будет определяться по формуле:

$$M = M_{\max} \cdot \sin \theta \cdot K \quad (1.2)$$

где: θ - угол между векторами Φ_0 и F_{AB} ; $M_{\max} = \Phi_0 \cdot F$; $K = 1/9810$.

Момент двигателя максимален при $\theta = 90^\circ + 30^\circ$.

Система автоматического управления (САУ) (рис.3), основывается на сигналах с датчика положения, что обеспечивает переключение статорных обмоток двигателя.

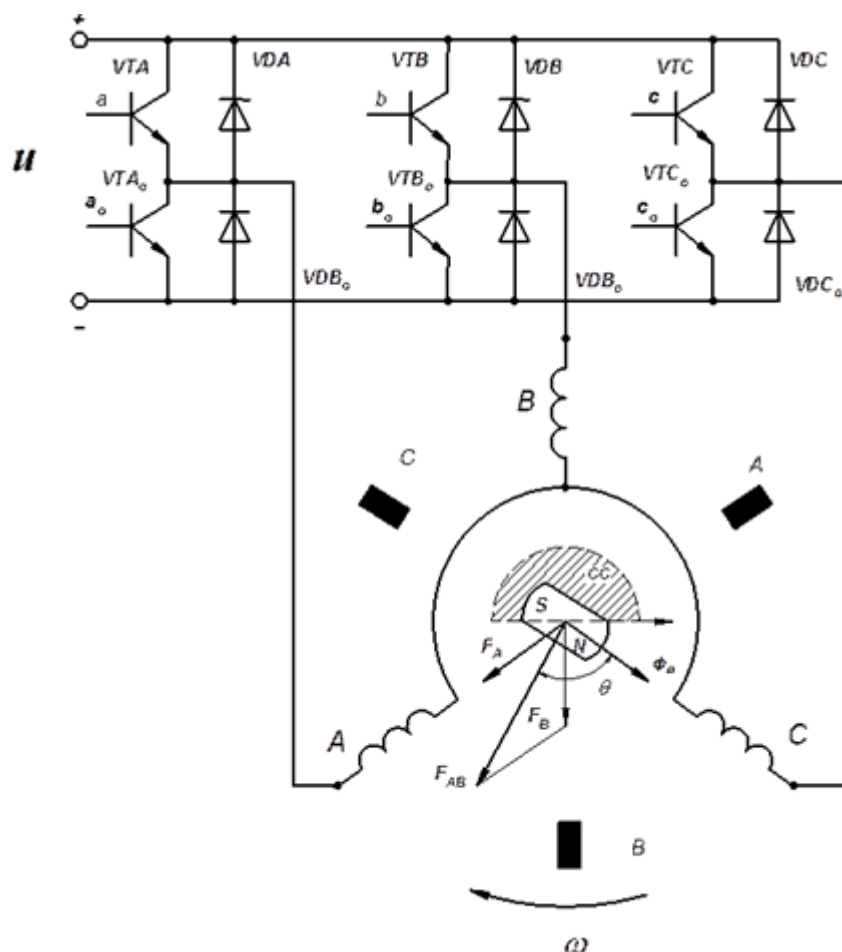


Рис 1.3. ВЭП. Схема электрическая функциональная. Формирование результирующей намагничивающей силы.

Рассмотрим работу ВЭП, когда например, открыты транзисторы VT A и VT C_o (рис 4). Тогда ток от источника U будет протекать через эти транзисторы и обмотки двигателя U и W. При этом создается результирующая намагничивающая сила F, которая при взаимодействии с магнитным потоком постоянных магнитов ротора Φ_0 создает вращающий момент, величина которого определяется углом рассогласования между Φ_0 и F.

Датчик положения ротора

В качестве датчика положения ротора бесконтактный использован вращающийся трансформатор (англ. resolver) (см. рис. 4) – это информационная электрическая машина, предназначенная для

преобразования угла поворота в электрическое напряжение, амплитуда которого является функцией входного напряжения и углового положения ротора. Ротор вращающегося трансформатора состоит из катушки, которая вместе с обмотками статора образуют трансформатор. В статоре размещаются три обмотки, расположенные по окружности через 120 градусов.

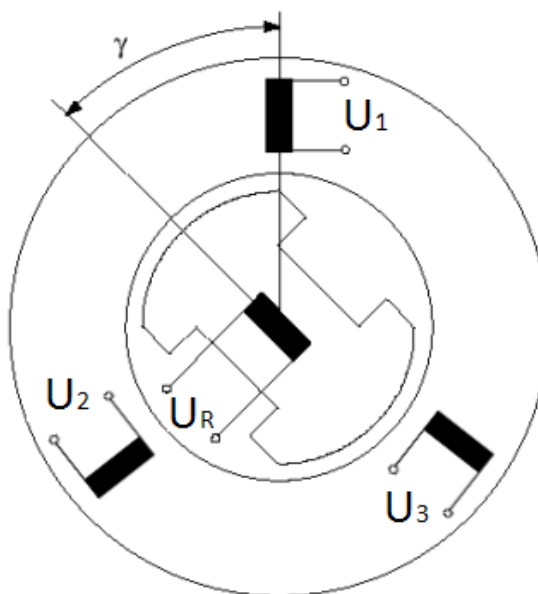


Рис. 1.4. Схематическое устройство вращающегося трансформатора.

В нашем случае использовано «бесконтактное» исполнение вращающегося трансформатора (рис. 6). В бесконтактных вращающихся трансформаторах обмотки ротора питаются с помощью двух промежуточных кольцевых трансформаторов (КТ).

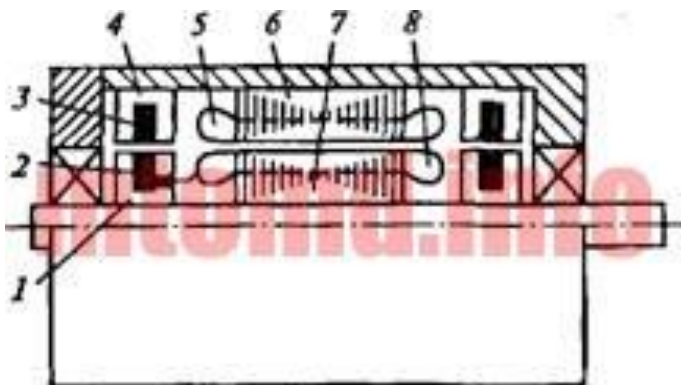


Рис. 1.5. Бесконтактный вращающийся трансформатор

1 — вращающийся магнитопровод КТ; 2 — вращающаяся обмотка КТ;

3 — неподвижная обмотка КТ; 4 — неподвижный магнитопровод КТ;

5 — обмотка статора ВТ; 6 — магнитопровод статора ВТ;

7 — магнитопровод ротора ВТ; 8 — обмотка ротора ВТ

1.4 Выбор питающего выпрямителя

Общие принципы построения выпрямительных устройств

Вследствие простоты трансформации переменного тока, производство и распределение осуществляется на нем. Но довольно большая часть производимой электрической энергии (30-35%) используется на постоянном токе.

Устройство, преобразующее переменный ток в постоянный, называется выпрямителем.

Классификации и структурная схема выпрямителей

В структурную схему выпрямителя (рис. 1.1) входят: силовой трансформатор (СТ), вентильный блок (ВБ), фильтрующее устройство (ФУ), цепь нагрузки (Н).

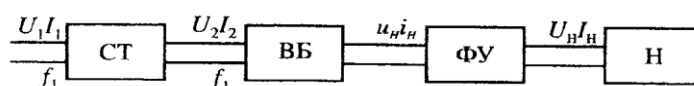


Рис. 1.6. Структурная схема выпрямителя.

Силовой трансформатор служит для согласования входного и выходного напряжений выпрямителя. Возможны различные соединения обмоток трансформатора соответственно с различными схемами выпрямления. Напряжение вторичной обмотки трансформатора U_2 определяет значение выпрямленного напряжения U_n .

При коэффициенте трансформации меньше 2, возможно использование автотрансформатора.

Достоинства автотрансформатора:

- меньший вес (в сравнении с обычными трансформаторами);
- меньшие размеры;
- более высокий КПД;
- меньшие электрические потери.

Вентильный блок преобразует переменный ток в постоянный, подключая вторичное напряжение соответствующей фазы трансформатора к цепи постоянного тока. В вентильном блоке используются, как правило, полупроводниковые диоды или сборки на их основе. На выходе вентильного блока получают знакопостоянное напряжение с высоким уровнем пульсаций, определяемым только числом фаз питающей сети и выбранной схемой выпрямления.

Фильтрующее устройство обеспечивает требуемый уровень пульсаций выпрямленного тока в цепи нагрузки. В качестве ФУ используются последовательно включаемые резистор или сглаживающий дроссель и параллельно включаемые конденсаторы. Иногда ФУ строится по более сложным схемам. При использовании многофазных (чаще всего трехфазных) схем выпрямления уровень пульсаций естественно снижается, и облегчаются условия работы ФУ.

Выпрямители классифицируются

- 1) по выходной мощности (маломощные - до 600 Вт, средней мощности - до 100 кВт, и большой мощности - более 100 кВт);
- 2) по количеству фаз источника (однофазные, многофазные);

3) по пульсности (p) выпрямителя, которая определяется числом полупериодов протекания тока во вторичной обмотке трансформатора за полный период напряжения первичной обмотки;

4) по числу знакопостоянных импульсов в кривой выпрямленного напряжения U_2 за период питающего напряжения:

- *однополупериодные*;

- *двухполупериодные*;

- *m -полупериодные*.

Выпрямители могут быть построены на управляемых вентилях (тиристорах, транзисторах) – управляемые выпрямители и на неуправляемых вентилях (диодах) – неуправляемые выпрямители.

Для работы и расчета выпрямителя принципиальное значение имеет характер *нагрузки* включенной на выходе выпрямителя. Различают следующие режимы работы выпрямителя:

а) на активную нагрузку;

б) на активно-индуктивную нагрузку;

в) на активно-емкостную нагрузку;

г) на нагрузку с противо-ЭДС.

Разные формы потребляемых из сети токов и их продолжительность при различном характере нагрузки выпрямителя приводит к тому, что методы расчетов выпрямителей существенно различаются.

Выбор схемы выпрямителя зависит от ряда факторов, которые должны учитываться в зависимости от требований, предъявляемых к выпрямительному устройству. К ним относятся:

- величины выпрямленного напряжения и мощности;
- частота и величина пульсации выпрямленного напряжения;
- число диодов и величина обратного напряжения на них;
- коэффициент полезного действия (к.п.д.);
- коэффициент мощности и другие энергетические показатели.

Большое влияние на показатели качества электроэнергии и на режим работы источников энергии оказывают электромеханические и электромагнитные процессы в электроприводе. В связи с этим для автономных объектов актуален вопрос электромагнитной и электромеханической совместимости и эффективных алгоритмов управления электроприводами.

При работе мощных преобразователей от автономной сети возникают негативные явления, снижающие качество электрической энергии. В реальных условиях в системе преобразования присутствуют гармоники неканоничных порядков, изменяющие амплитудно-частотные спектры напряжений и токов на входе и выходе преобразователей. Причинами появления этих гармоник являются различные дестабилизирующие факторы, такие как: несимметрия напряжения сети, высокочастотные колебания, несимметрия управления, динамические режимы.

Значения фазы и амплитуды гармоник тока носят случайный характер, так как зависят от углов управления и коммутации, от нагрузки. Этот случайный характер гармоник токов и напряжений осложняет решение задачи электромагнитной совместимости. Также гармоники, генерируемые в преобразователях электроэнергетической системы, приводят к потерям электроэнергии, ускоренному старению изоляции, снижению коэффициента мощности и вращающего момента на валу асинхронного электродвигателя.

Одним из способов решения этой проблемы является применение выпрямителей и фильтров в составе преобразователей частоты.

В качестве фильтров в большинстве случаев используются статические фильтры. В неавтономных питающих сетях используются резонансные фильтры. Однако их применение в составе автономной энергетической системы ограничено. Это ограничение вызвано тем, что в системе энергоснабжения буровой установки постоянно меняются параметры преобразователей, напряжения и частоты сети.

Наиболее распространенным способом решения проблемы электромагнитной совместимости является повышение пульсности схемы выпрямления.

При сочетании двух способов соединения обмоток трансформатора (“треугольник” и “звезда”) в первичной либо во вторичной цепях схем выпрямителей, включенных параллельно или последовательно пульсность устройства возрастает в два раза.

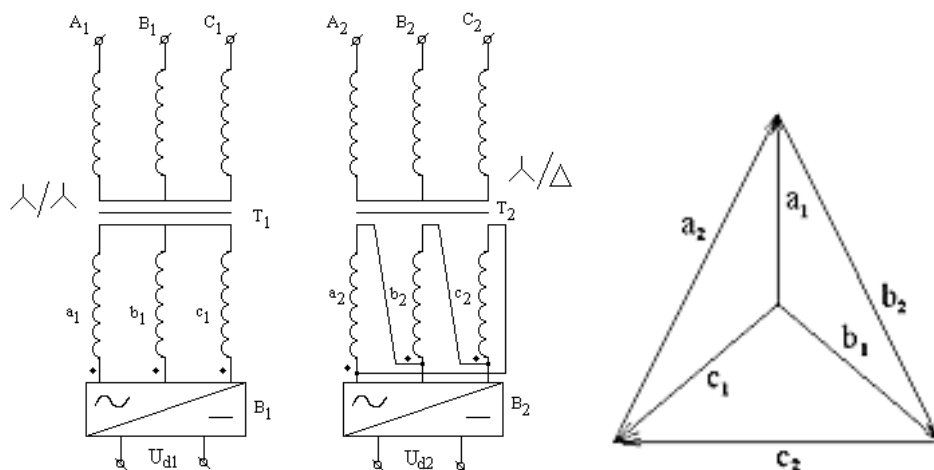


Рис. 1.7. Схема подключения питающих трансформаторов.

Если каждый из выпрямителей построен по трехфазной мостовой схеме ($p=6$), то получаем схему 12-пульсного выпрямителя. При питании каждого из мостов напряжениями, сдвинутыми по фазе на угол $\pi/6$ (30°), пульсации

выходных напряжений мостов В1 и В2 оказываются сдвинутыми также на 30° .

При расчете трансформатора для 12-пульсного выпрямителя следует учесть, что из первичной цепи трансформатора во вторичную передаются фазные напряжения. В трехфазном мостовом выпрямителе в нагрузку передается линейное напряжение трансформатора. Поэтому для согласования выпрямителей во вторичной цепи трансформатора, включенного в “треугольник” необходимо увеличивать число витков фазных обмоток вторичной цепи в $\sqrt{3}$ раз (т. к. в “звезде”: $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$; “треугольнике”: $U_{\text{л}} = U_{\phi}$).

На рисунке приводится сравнение временных зависимостей выпрямленного напряжения в 6-пульсном и 12-пульсном выпрямителях.

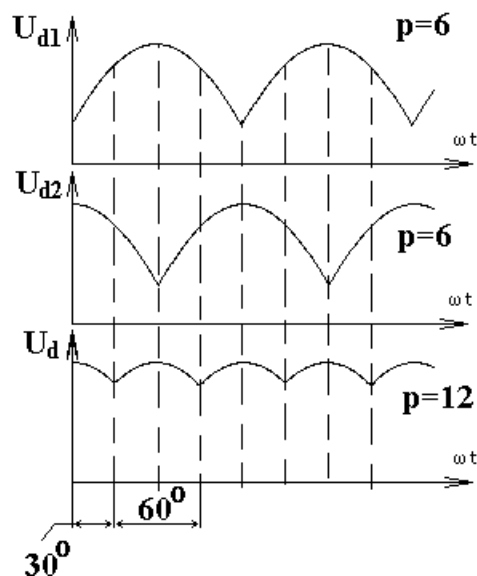


Рис. 1.8. Временные зависимости напряжения.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Необходимо составить математическую модель электромеханического преобразователя энергии, в которой явления описываются теми же уравнениями, что и в реальной системе.

Модели принято представлять в виде системы дифференциальных уравнений, записанной относительно изображений переменных. Выбор переменных обусловлен начальными условиями, целями и задачами исследований.

2.1. Математическое описание ВД.

Модель вентильной машины во вращающейся системе координат.

При анализе вентильной машины обычно используется вращающаяся со скоростью ротора система координат.

Связь между вращающейся и неподвижной системами координат рассмотрена ниже.

$$\begin{aligned}\vec{i}_{s.Bp} &= \vec{i}_{s.H} \cdot e^{-j\omega t}, i_d = i_{s\alpha} \cdot \cos \omega t + i_{s\beta} \cdot \sin \omega t, i_q = i_{s\beta} \cdot \cos \omega t - i_{s\alpha} \cdot \sin \omega t \\ \vec{i}_{s.H} &= \vec{i}_{s.Bp} \cdot e^{j\omega t}, i_{s\alpha} = i_d \cdot \cos \omega t + i_q \cdot \sin \omega t, i_{s\beta} = i_q \cdot \cos \omega t - i_d \cdot \sin \omega t \quad (2.1)\end{aligned}$$

При переходе к вращающимся координатам уравнение электрического равновесия преобразуется к виду:

$$\vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + j \cdot \omega \cdot L_s \cdot \vec{i}_s + j \cdot \omega \cdot \vec{\Phi}_0 \quad (2.2)$$

Разложив результирующие вектора электромагнитных переменных состояния по осям d и q, получим скалярное описание машины.

$$\left. \begin{aligned} u_d &= R_s \cdot i_d + L_s \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot i_q \\ u_q &= R_s \cdot i_q + L_s \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega \cdot L_s \cdot i_d + \omega \cdot \Phi_0 \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot i_q \\ J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_u \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

$$\text{где принято } \vec{u}_s = u_d + j \cdot u_q, \vec{i}_s = i_d + j \cdot i_q, \vec{\Phi}_0 = \Phi_0 \quad (2.4)$$

При анализе снова вводятся относительные переменные. В качестве базовых величин принимаются:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\Phi, I_b = \frac{U_b}{R_s}, \omega_b = \frac{U_b}{\Phi_0}, M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b \quad (2.5)$$

В относительных величинах уравнения (2.1.3) запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_d &= \bar{i}_d + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_q \\ \bar{u}_q &= \bar{i}_q + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega} \\ \bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{m} - \bar{m}_u, \bar{m} = \bar{i}_q \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

где относительные переменные и параметры определены выражениями:

$$\bar{u} = \frac{\vec{u}}{U_b}, \bar{i} = \frac{\vec{i}}{I_b}, \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}, \bar{m} = \frac{M}{M_b}, \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}, \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}, \bar{t} = \omega_b \cdot t \quad (2.7)$$

2.2 Имитационная математическая модель вентильного электропривода с помощью пакета MATLAB

Для моделирования используем вышеприведенные системы уравнений.

Модель вентильного двигателя для проверки соответствия его номинальным характеристикам.

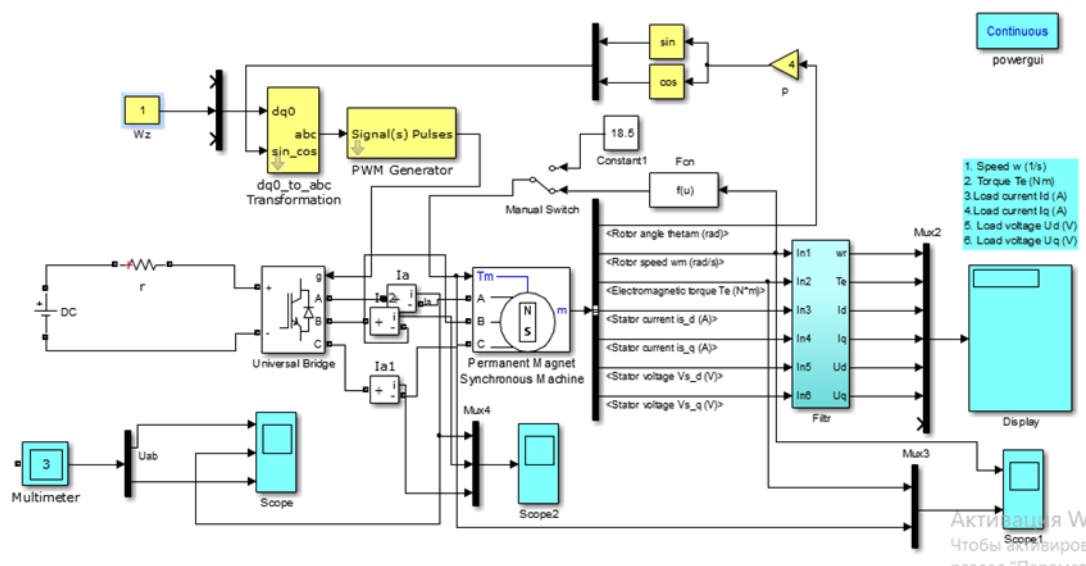


Рис. 2.1. Структурная схема модели вентильного привода для исследования двигателя.

Модель вентильного двигателя подключаем к инвертору напряжения, без обратной связи по частоте вращения ротора, на номинальную скорость вращения.

В результате получены характеристики переходного процесса вентильного двигателя при прямом пуске на максимальные обороты 3000 об/мин.

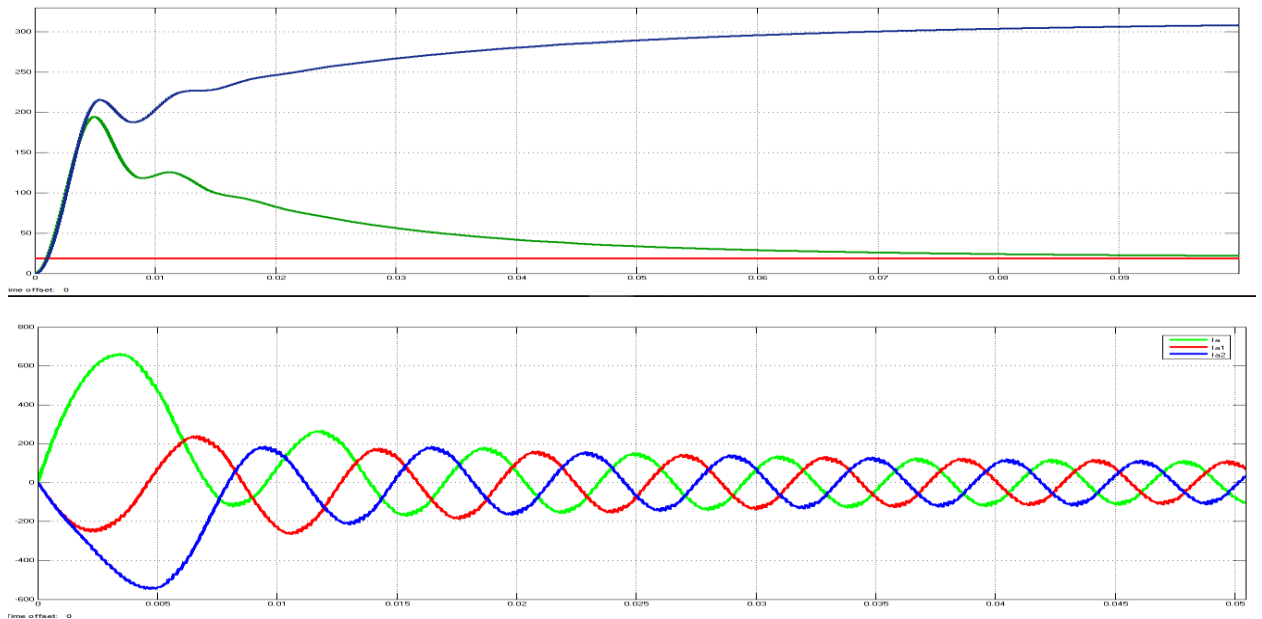


Рис. 2.2. Переходный процесс скорости вращения, электромагнитного момента и тока при номинальном моменте нагрузки.

Из полученных характеристик видно, что модель двигателя выходит на номинальную частоту вращения при максимальной нагрузке. Значения тока в фазах обмоток статора соответствуют номинальным значениям. Отсюда следует, что данная модель вентильного двигателя удовлетворяет требуемым параметрам.

Модель вентильного электропривода

Далее представлена математическая имитационная модель вентильного электропривода.

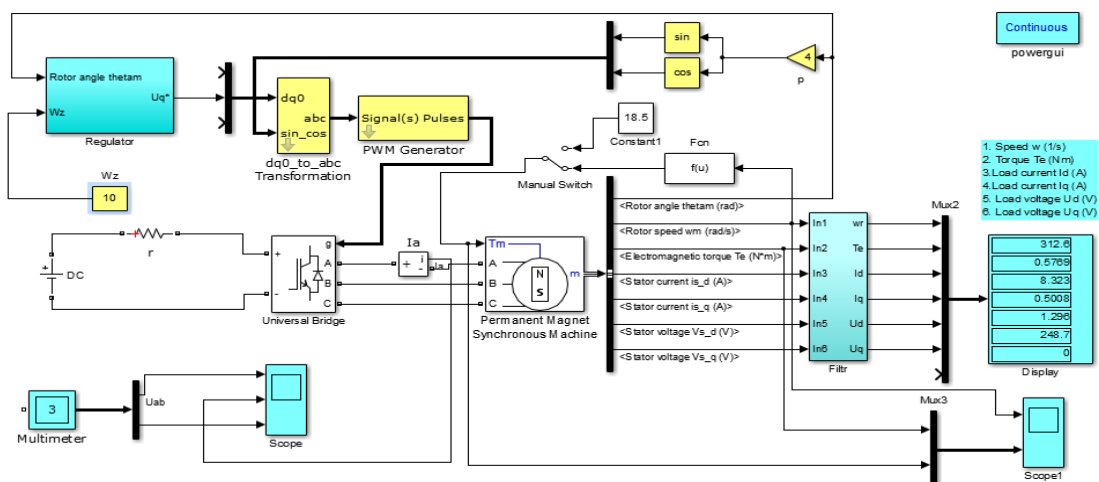


Рис. 2.3. Структурная схема вентильного электропривода.

Получены диаграммы переходных процессов ВЭ в различных режимах работы.

Переходной процесс при пуске электропривода на минимальную частоту вращения (300 об/мин).

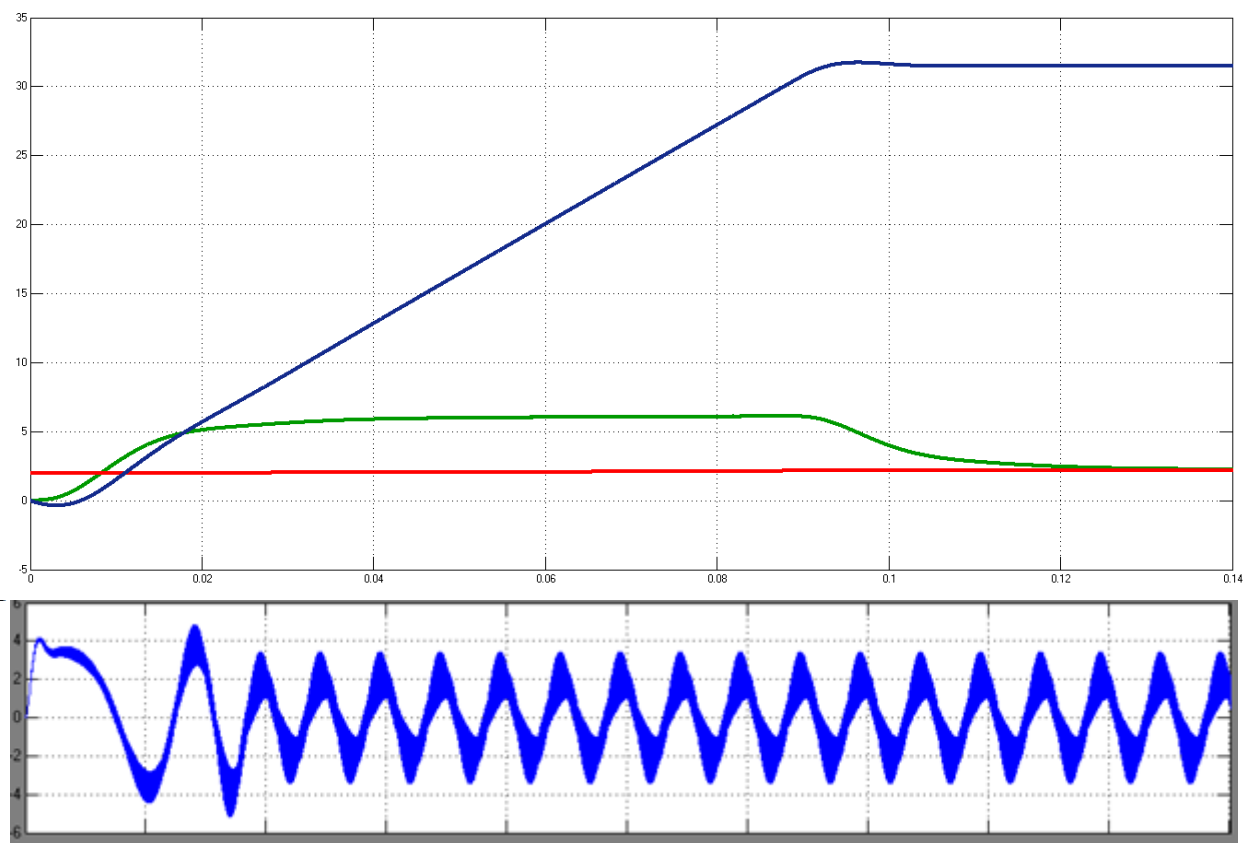


Рис. 2.4. Переходный процесс скорости вращения, электромагнитного момента, момента нагрузки и тока.

По графику видно, что процесс разгона происходит плавно, без больших бросков пускового тока.

Переходный процесс при номинальной частоте вращения (3000 об/мин).

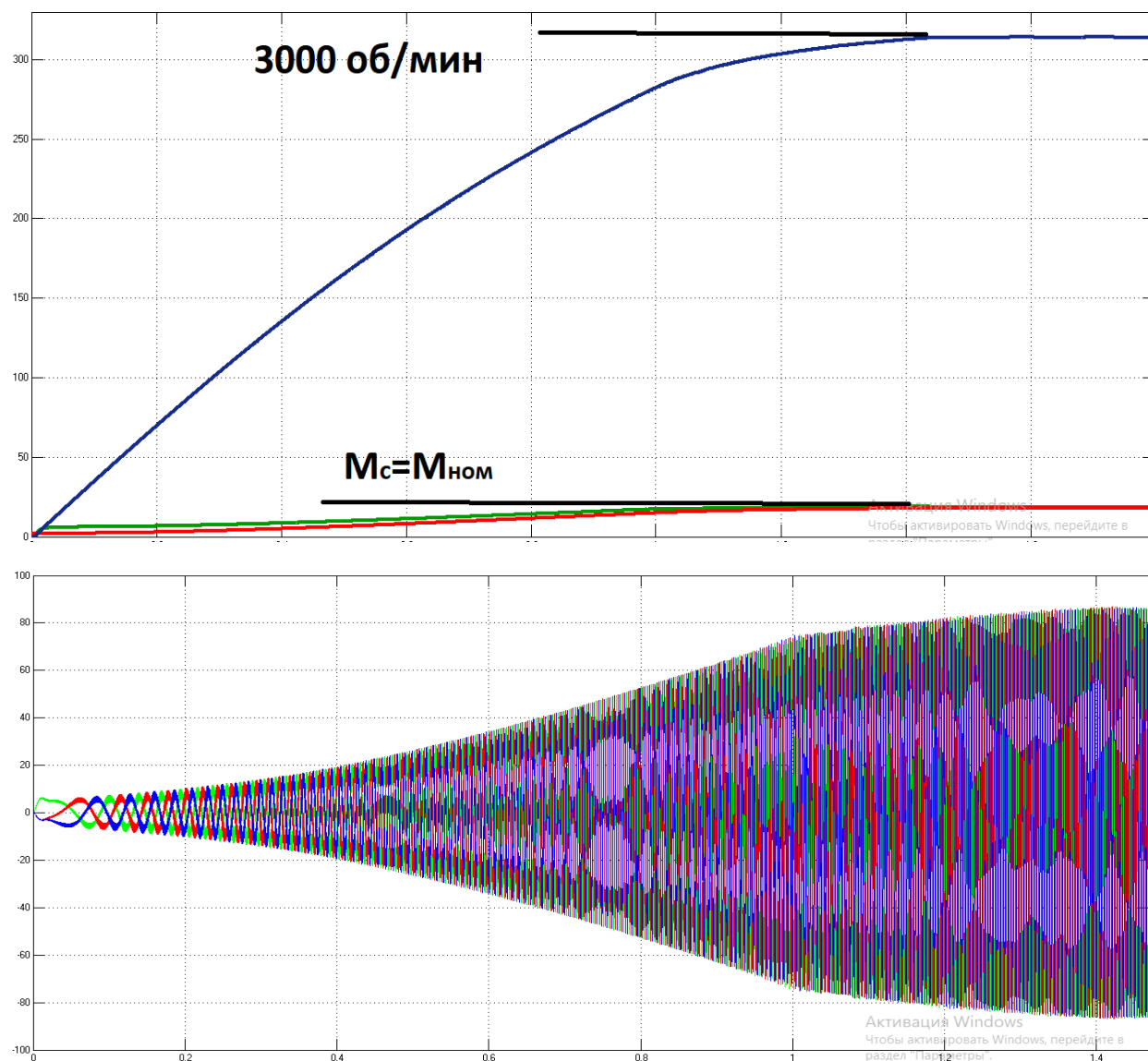


Рис. 2.7. Переходный процесс скорости вращения, электромагнитного момента, момента нагрузки и тока.

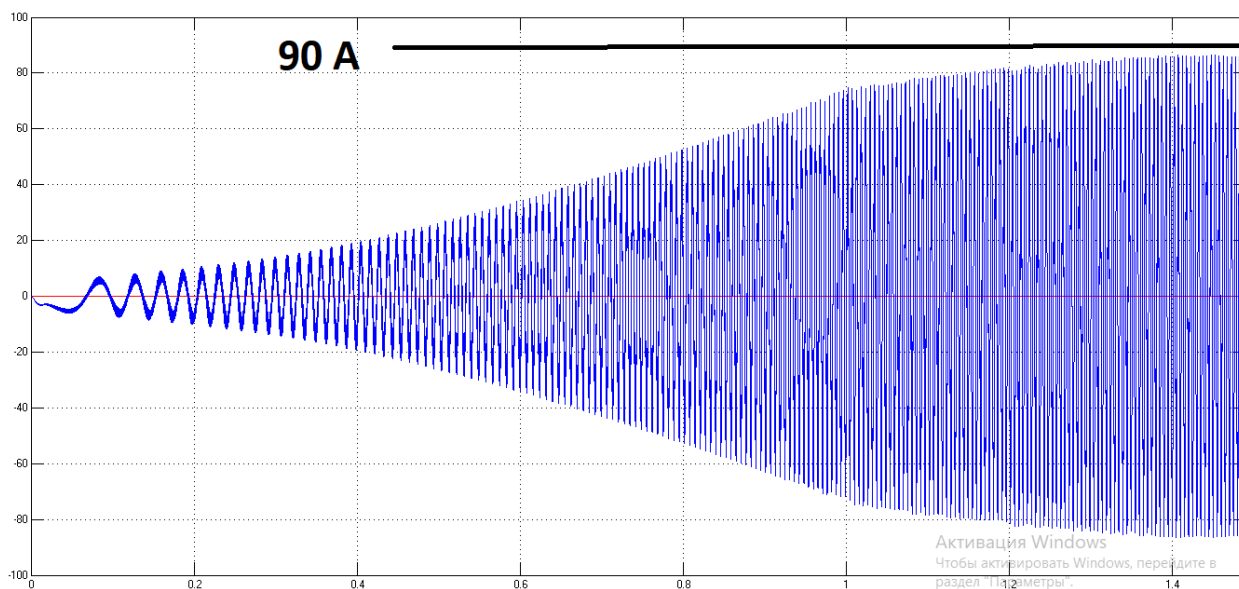


Рис. 2.8. График изменения тока фазы А.

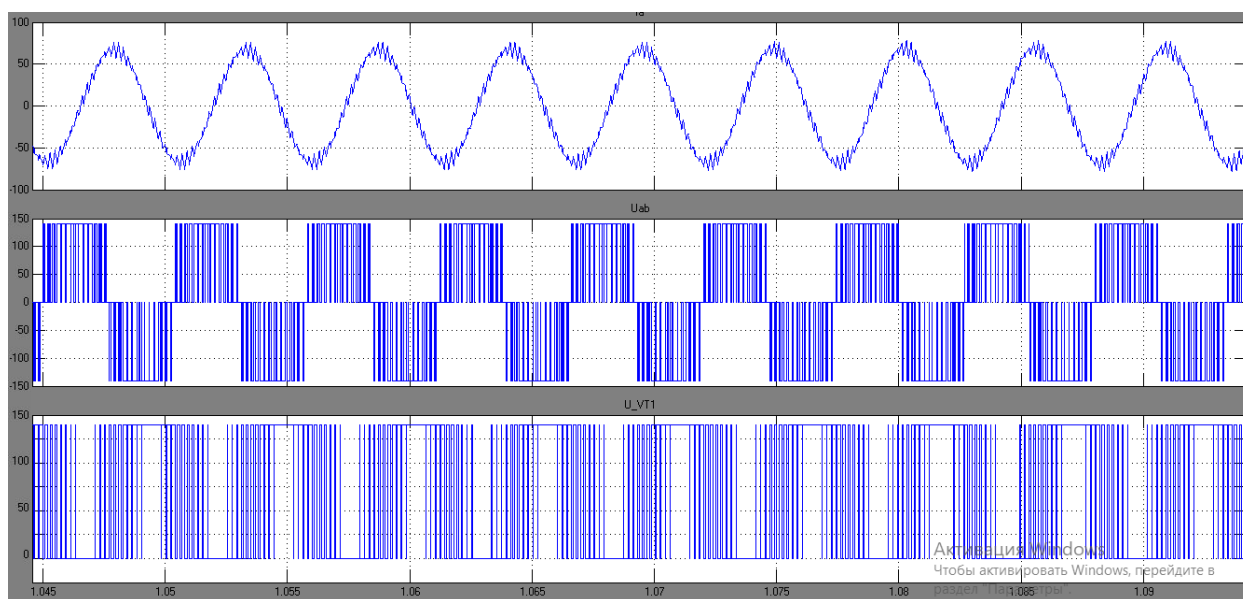


Рис. 2.9. График значения тока фазы А. График изменения напряжения на выходе инвертора фазы А (ключах VT A-VT A₀). График напряжения на ключе VT А.

Согласно данному графику, переходный процесс разгона от нулевой до номинальной частоты вращения при номинальной нагрузке, происходит плавно без каких-либо резких бросков момента и токов. Амплитуда пускового тока при разгоне соответствует критерию не более 90 А, указанному в техническом задании.

Переходный процесс при изменении частоты вращения 300-3000 об/мин.

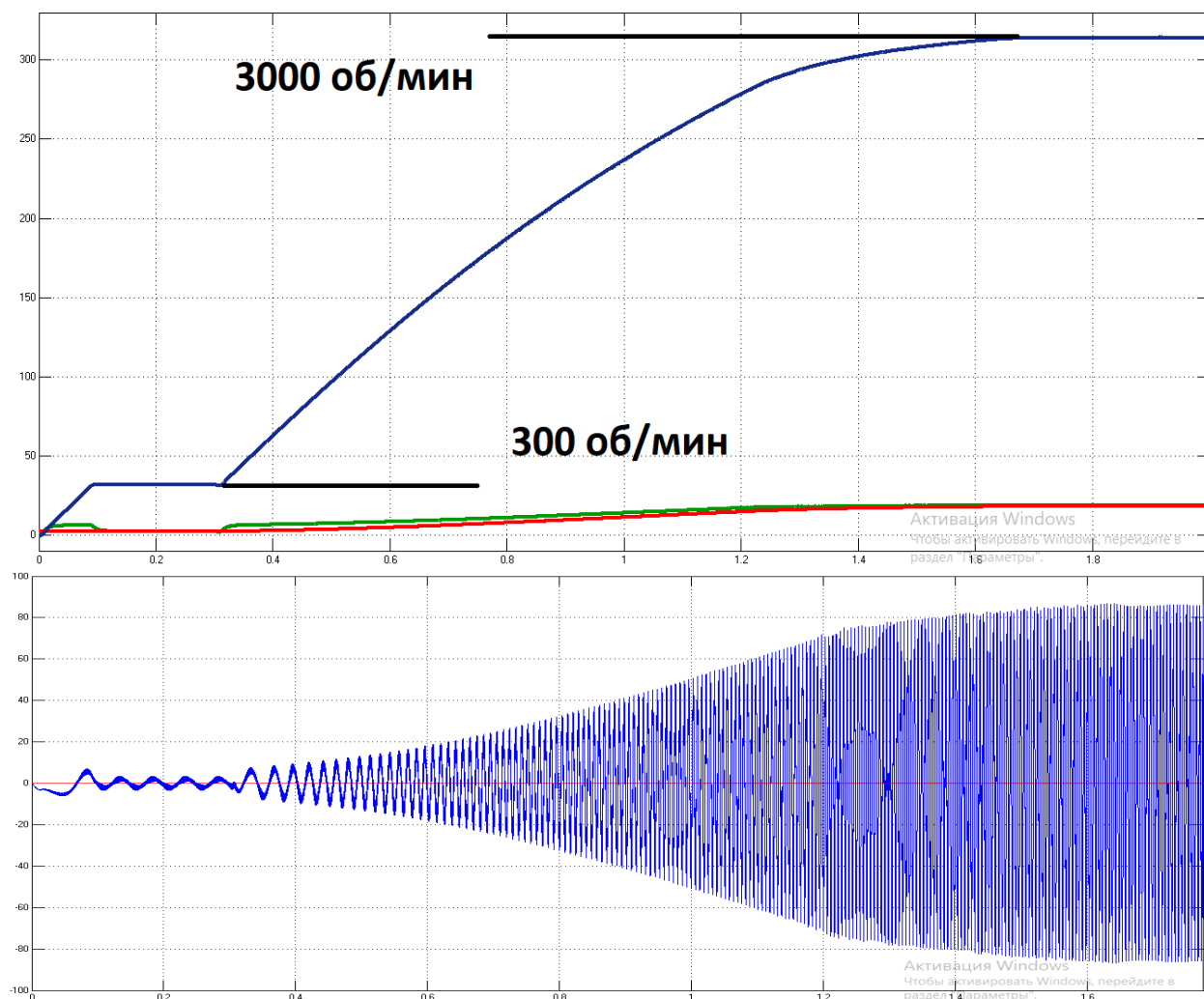


Рис. 2.10. Переходный процесс скорости вращения, электромагнитного момента, момента нагрузки и тока фазы А.

На данных диаграммах показан переходной процесс разгона до 300 об/мин, а затем увеличение частоты вращения до 3000 об/мин. По значениям момента и тока можно с уверенностью сказать, что регулятор хорошо отрабатывает переходные режимы работы вентильного электропривода.

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИТАЮЩЕГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ORCAD

OrCAD является сочетанием функциональности и интуитивности интерфейса с инструментарием, необходимыми при быстрых решениях задач проектирования в схемотехнике. Возможные нарушения правил проектирования позволяют выявлять мощные средства проверки.

Моделирование в OrCAD - это быстрый, простой и надежный способ выполнения расчета схем. С его помощью можно создавать схемы, где будет максимально оптимизирован разброс параметров элементов, с учетом их допусков, которые не будут слишком жесткие, что не приведет к удорожанию, и не будут достаточно свободные, чтобы не увеличивался процент брака. Это ведет к увеличению рентабельности производства, сокращению этапа прототипирования, времени, проведенного в лаборатории, и в конечном итоге снижению стоимости продукции и повышению ее конкурентноспособности на рынке.

Технологии PSpice – это передовые, востребованные на производстве средства аналогового, цифрового и смешанного аналого-цифрового моделирования для инженеров-электриков. С помощью PSpice возможно моделирование широкого диапазона схем – от источников питания до высокочастотных систем и небольших микросхем. PSpice дает возможность инженеру:

- понять и исследовать характеристики схемы, а также функциональные взаимосвязи со сценариями "что если" и анализом проекта;
- моделирование сложных проектов со смешанными сигналами, содержащих аналоговые и цифровые элементы с поддержкой таких типов моделей, как IGBT, импульсные модуляторы, ЦАП и АЦП.

С PSpice легко просматривать результаты смешанного аналого-цифрового моделирования в одном окне с общей осью времени. Технология моделирования PSpice проста в использовании и находится в тесной

интеграции с одним из наиболее востребованных на предприятиях схемотехнических редакторов: OrCAD.

Анализ по постоянному току позволяет получить характеристики схемы (токи, напряжения, мощности) при изменении параметров источников напряжения, источников тока, глобальных параметров схемы, параметров модели.. Возможно также табличное задание изменения перечисленных параметров. Существует возможность одновременного изменения двух параметров.

3.1 Имитационная модель питающего выпрямителя

Имитационная модель питающего трансформатора. Создана для сравнения характеристик 6-ти пульсной схемы выпрямления с 12-ти пульсной, включенной сочетанием двух способов соединения обмоток трансформатора (“треугольник” и “звезда”).

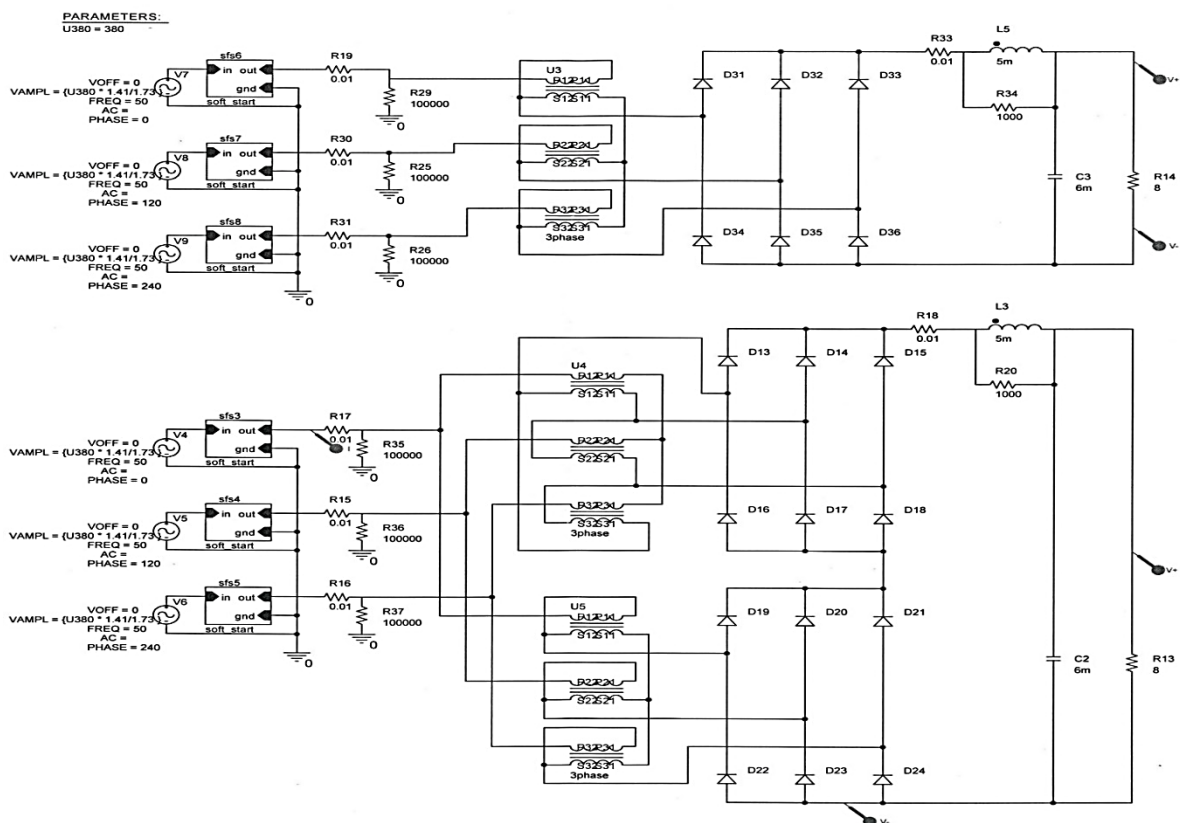


Рис. 2.14. 6-ти пульсная и 12-ти пульсная схемы выпрямления.

Полученные характеристики

Графики значений тока и напряжения питающих автотрансформаторов 12-ти пульсной схемы выпрямления.

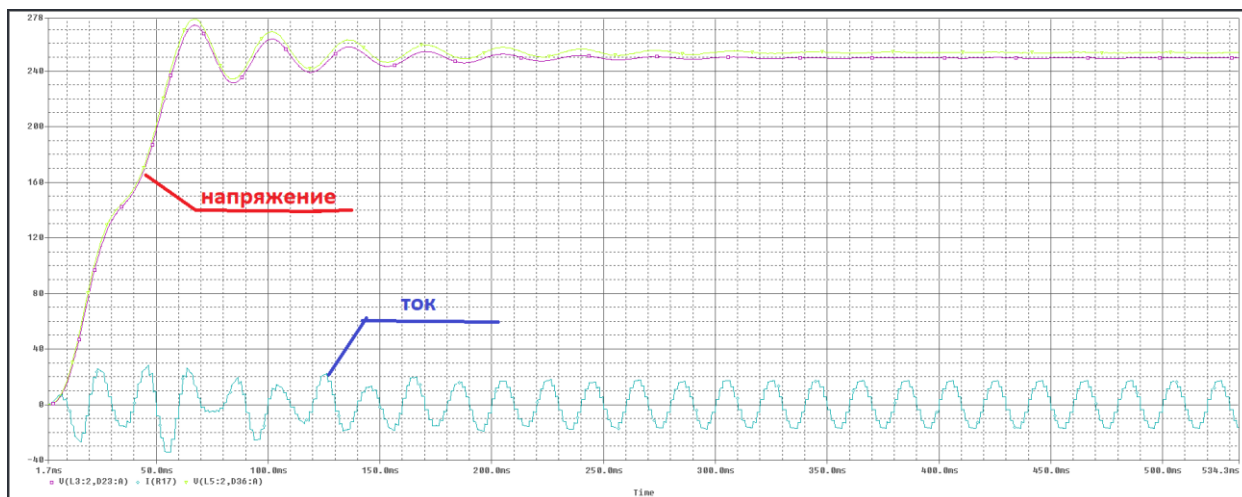


Рис. 2.15. Графики значений напряжения и тока 12-ти пульсной схемы выпрямления.

Увеличенный график значений тока.



Рис. 2.16. 12-ти пульсная схемы выпрямления.

Графики значений тока и напряжения питающих автотрансформаторов 6-ти пульсной схемы выпрямления.

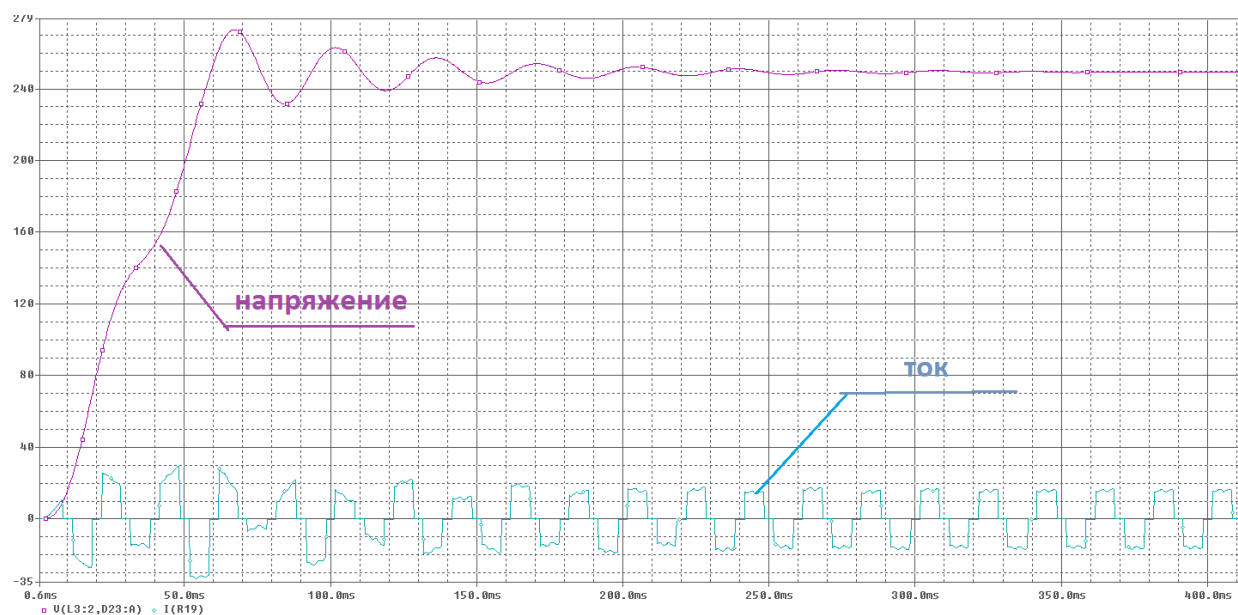


Рис. 2.17. График 6-ти пульсной схемы выпрямления.

Увеличенный график значений тока.

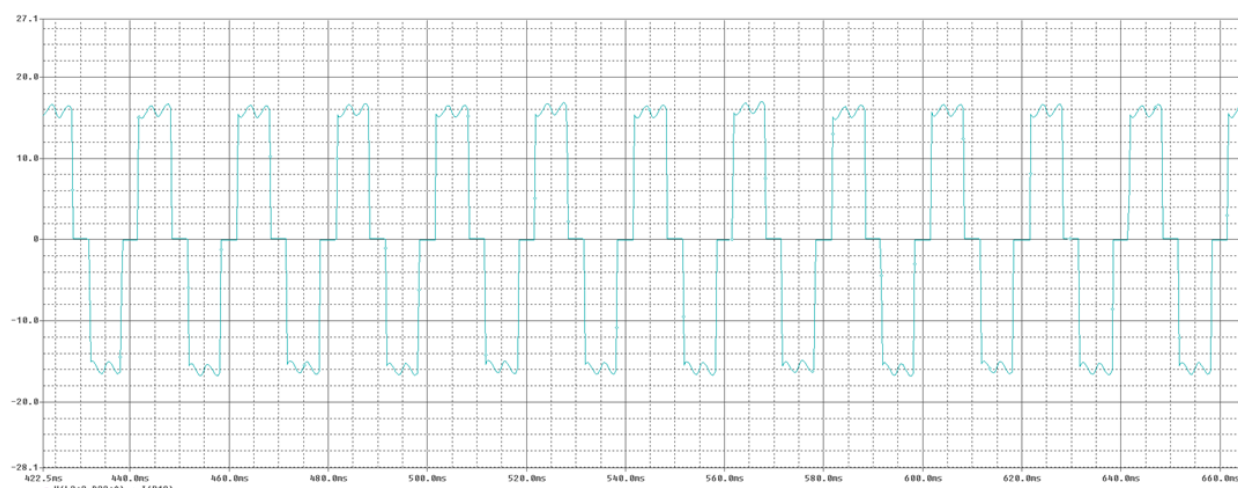


Рис. 2.18. График 6-ти пульсной схемы выпрямления.

Проанализировав полученные графики можно сделать вывод о том, что 12-ти пульсная система значительно превосходит 6-ти пульсную по энергетическим показателям воздействия на питающую сеть

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В рамках данной главы исследовательской работы рассматривается экономическая целесообразность исследования вентильного электропривода. Определяется перспективность и успешность научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Построение таких электроприводов невозможно без проведения экспериментальных исследований, разрабатываемых установок. В связи с этим и возникает задача построения испытательных стендов и разработки автоматизированных систем управления технологическим процессом проведения эксперимента. Такая отказоустойчивая система найдет применение в таких отраслях как военная и медицинская, где предъявляются повышенные требования к отказоустойчивости механизмов. Также возможно применение таких систем в системах перекачки жидкостей, и системах жизнеобеспечения.

4.1. Анализ и оценка научно-технического уровня проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле 12 [36]

$$, HТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i \quad (4.1)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.1. Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.7
Теоретический уровень	0.5
Возможность реализации	0.3

Таблица 4.2. Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 4.3. Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 4.4. Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы

Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1=0.7, P_1=6, k_2=0.5, P_2=6,$$

$$k_3=0.3, P_3=10, k_4=0.3, P_4=10,$$

$$HTU = 0.7 \cdot 6 + 0.5 \cdot 6 + 0.3 \cdot 10 + 0.3 \cdot 10 = 13.2$$

По полученным результатам расчета можно сделать вывод, что данный проект имеет высокий коэффициент научно-технического уровня, при этом имеет сравнительно высокие возможности реализации так как может быть использован во многих отраслях за короткое время реализации.

4.2 Планирование управления проектом

Планирование проекта – это составление планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных ресурсов. Составим перечень проводимых работ, определив их исполнителей, а также определим количество дней, потраченных на выполнение этих работ.

Для выполнения перечисленных работ требуются следующие специалисты:

- студент (С);
- научный руководитель (НР).

Основные задачи:

1. Взаимная увязка этапов работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их трудоемкости и обеспечение их выполнения в установленные сроки;

3. Определение общего объема работ и необходимых для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов.

Таблица 4.5. Перечень работ по реализации проекта

№	Наименование работы
1	Постановка целей и задач
2	Знакомство с литературой по теме, обзор схемотехники существующих испытательных стендов
3	Составление технического задания
4	Изучение технологического процесса
5	Изучение оборудования, методов расчета, программного обеспечения
6	Выбор и обоснование силовой части
7	Расчет силовой части
8	Разработка схемы и алгоритма работы испытательного стенда, патентование разработанной схемы
9	Формирование имитационной модели, проведение экспериментов
10	Публикация результатов исследований
11	Оформление пояснительной записки
12	Проверка готовой пояснительной записки руководителем

Определение трудоемкости работ

Трудоемкость выполняемых при разработке проекта работ определяется по сумме трудоемкостей этапов и видов работ, оцениваемых экспертным путем в человеко-днях, и носит вероятностный характер. Одной из основных целей планирования научно – исследовательской работы является определение общей продолжительности ее проведения. В настоящее время для определения ожидаемого значения продолжительности работы $t_{ож}$

применяются несколько вариантов использования вероятностных оценок продолжительности. Рассмотрим один из них:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{MIN} + 2 \cdot t_{MAX}}{5}, \quad (4.2)$$

где t_{min} — минимально возможное время, за которое может быть выполнена работа, измеряется в чел-дн.;

t_{max} — максимальное время, за которое работа может быть выполнена, измеряется в чел.-дн.

Для определения трудоемкости выполнения проекта воспользуемся формулой:

$$T = n \times t_{ож(ij)} \quad (4.3)$$

где T – трудоемкость, чел.×дн.;

n – количество исполнителей, человек;

$t_{ож(ij)}$ – продолжительность работ, дней.

Результаты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6. Данные по трудоемкости работ

№ этап а	Кол-во исполнителей	Кол-во дней	Продолжительность работ			Т, чел/дн	% от всего времени выполнения НИР
			t_{MIN}	t_{MAX}	$t_{ож}$		
1	Руководитель Студент	5	4	7	5	10	1,359
2	Студент	21	14	30	21	21	5,707
3	Руководитель	7	7	14	10	10	1,9
4	Студент	21	14	21	18	21	5,707
5	Студент	14	10	14	14	14	3,804
6	Руководитель	7	4	7	7	14	2

	ль Студент						
7	Студент	3	2	4	3	3	0,815
8	Руководите ль Студент	30	18	30	25	50	8,152
9	Студент	186	120	200	180	180	50,543
10	Руководите ль Студент	60	48	100	60	120	16,304
11	Студент	7	5	14	10	10	1,8
12	Руководите ль Студент	7	7	14	12	24	1,9

На следующем этапе осуществим построение линейного графика работ (рисунок 6.1), который является простым и наглядным, отражающий этапы и продолжительность выполнения каждого вида работ в сравнении между ожидаемым временем и затраченным.

Общая продолжительность НИР составила 368 рабочих дней ($t_{\text{раб}}$), при этом не учитывались выходные и праздничные дни. Для учета выходных и праздников переведем рабочие дни в календарные, для перевода воспользуемся формулой:

$$t_{\text{кал}} = t_{\text{раб}} / k_{\text{пер}} = 368 / 0.66 = 558 \text{ дней},$$

$t_{\text{кал}}$ - общая продолжительность НИР в календарных днях;

$t_{\text{раб}}$ - общая продолжительность НИР в рабочих днях;

$k_{\text{пер}}$ – переводной коэффициент равный 0,66.

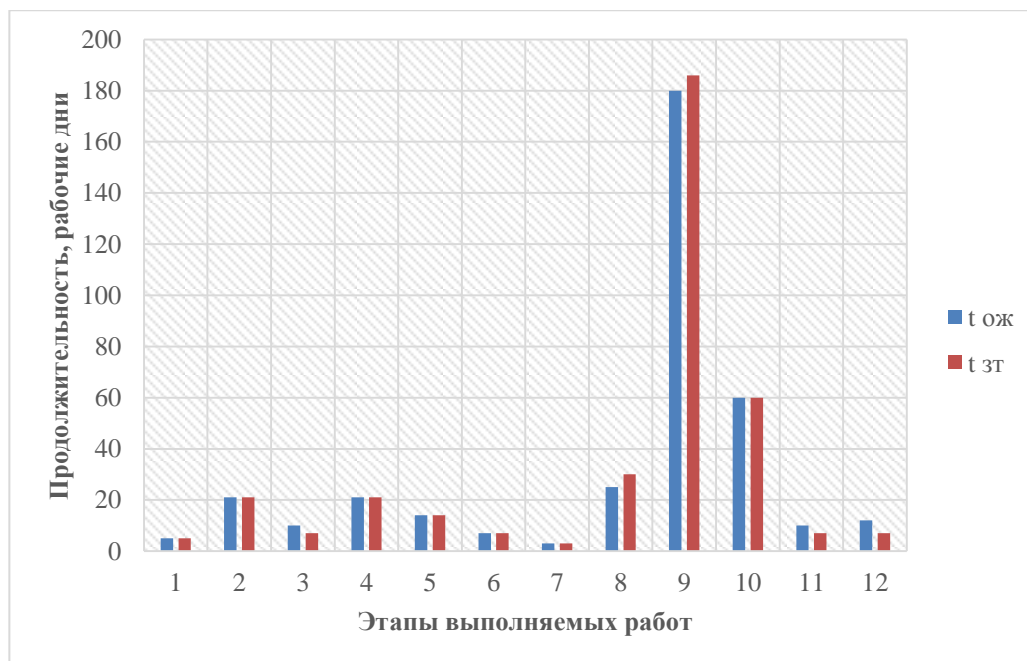


Рисунок 4.1. Линейный график работ.

Ожидаемое время работы $T_{ож} = 365$ дней.

Затраченное время работы $T_{зт} = 368$ дней.

Результаты планирования показали, что время, затраченное на проектирование для: студента (С) – 361 дня, научного руководителя проекта НР – 116 дней.

4.3 Календарный план

Календарное планирование в управлении проектами – это ключевой и важный процесс, результатом которого является утвержденный руководством компании календарный план проекта (часто его называют еще планом-графиком, календарным графиком, планом управления проектом). Цель календарного планирования – получить точное и полное расписание проекта с учетом работ, их длительностей, необходимых ресурсов, которое служит основой для исполнения проекта.

Составление календарного плана-графика проекта включает в себя несколько аспектов. Должны спланировать сроки и длительности работ, определить их последовательность и взаимосвязи, подумать о необходимых ресурсах. В дальнейшем, когда проект перейдет на стадию исполнения, то

есть практической реализации запланированных действий, именно по этому плану-графику мы отслеживаем ход выполнения работ. И, если что-то в проекте пойдет не так, можно, сверив с первоначальным планом проекта, внести соответствующие изменения [37].

Ниже приведем перечень работ, представленных в таблице 6.7.

Таблица 4.7. Список работ на 2017-2018

Вид работы	Календарный план на 2017-2018 годы									
	2017 год				2018 год					
	сен.	окт.	ноя.	дек.	январ.	фев.	мар.	апр.	май.	июн.
Постановка целей и задач										
Знакомство с литературой по теме, обзор схмотехники существующих испытательных стендов										
Составление технического задания										
Изучение технологического процесса										
Изучение оборудования, методов расчета, программного обеспечения										
Выбор и обоснование силовой части										
Расчет силовой части										
Разработка схемы и алгоритма работы испытательного стенда, патентование разработанной схемы										
Формирование имитационной модели, проведение экспериментов										
Публикация результатов исследований										
Оформление пояснительной записки										
Проверка готовой пояснительной записки руководителем										

4.4 Бюджет затрат на разработку проекта.

При составлении бюджета затрат на разработку проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых

расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям [38]. На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости разработки данного проекта, приведенной в таблице. 4.8.

Таблица 4.8. Калькуляция плановой себестоимости разработки проекта.

Статьи затрат	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	43072,4
Затраты на оплату труда	56280,98
Отчисления на социальные нужды	16884
Накладные расходы	9004,8
Прочие затраты	5628
Себестоимость проекта	130870,18
Плановые накопления (прибыль 15,5%)	20284,88
Бюджет проекта	151155

Расчет материальных затрат.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включены расходы на приобретение оргтехники и расходы на оформление документации (в том числе канцелярские принадлежности). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 4.9.

Таблица 4.9. Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Компьютер	шт	7	1	27000	27000
Принтер лазерный цветной	шт	5	1	5500	5500

Бумага формата А4	лист	-	500	0,2	300
Картридж ч/б	шт	-	1	400	700
Брошюровка документов			1	70	70
Всего за материалы:					33570
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					9502.4
Итого по статье C_m					43072.4

Расчет затрат на оплату труда.

В настоящую статью включаются расходы по оплате труда исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ проекта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ, рассчитанной ранее (таблица 4.6). В состав затрат на оплату труда включаются следующие выплаты:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат. [37,39]

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя:

$$C_{осн} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot C_{зпi} \quad (4.4)$$

где n - количество участников проекта; T_i - затраты труда работника, (дни);

$C_{зпi}$ - среднедневная заработная плата работника (руб/день).

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается из часового оклада и количества выделенных на работу со студентом часов:

$$З_{осн} = З_{час} \cdot T_{час} = 300 \cdot 24 = 7200$$

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{\text{зн}} = \frac{D \cdot (1 + k_1) \cdot (1 + k_2)}{F_0} \quad (4.5)$$

Определим месячный оклад (D) студента (на должности инженера кафедры электропривода ТПУ на 0,25 ставки) в 1996,36 рублей.

K1– коэффициент, учитывающий районный коэффициент K_{рк}=30%;

k2 – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 10%;

F0–количество рабочих дней в месяце (в среднем 21 день).

Учитывая то, что научный руководитель был занят при разработке 24 дней, а студент-проектировщик - 361, найдем основную заработную плату и сведем в таблицу 4.10.

Таблица 4.10. Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Фонд з/платы, руб.
НР				7200
С	1996,36	135,943	361	49080,38
Итого:				56280,38

Таким образом, затраты на основную заработную плату, которая включает в себя и дополнительную заработную плату, составили

$C_{\text{осн}} = 56280,98$ руб.

Расчет затрат по отчислениям на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Отчисления в пенсионный фонд Российской Федерации – 22% от общей суммы затрат на оплату труда, фонд социального страхования Российской Федерации – 2,9%, а также федеральный фонд обязательного медицинского страхования – 5,1. Таким образом, тариф страхового взноса равен 30% от общего фонда

заработной платы. Расчет отчислений на социальные нужды сведем в таблице 4.11.

Таблица 4.11. Отчисления на социальные нужды.

Затраты на оплату труда, руб.	Отчисления на социальные нужды (30%), руб.	В том числе		
		ПФР (22%), руб.	ФСС (2,9%), руб.	ФФОМС (5,1%), руб.
56280,98	16884	12381	1632	2870

Расчет накладных расходов.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на разработку конкретного проекта. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчете принимаем эти расходы в размере 16 % от суммы затрат на оплату труда. Расчет накладных расходов сведем в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Накладные расходы.

Затраты на оплату труда, руб.	Накладные расходы (16%), руб.
56280,98	9004,8

Расчет прочих затрат.

В эту статью расходов в данном проекте включены расходы по командировкам исполнителей, связанных с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от затрат на оплату труда всего персонала, занятого на выполнении данного проекта. Расчет прочих затрат сведем в таблице 4.13.

Таблица 4.13. Прочие затраты.

Затраты на оплату труда, руб.	Прочие затраты (расходы по командировкам 10%), руб.
56280,98	5628

На рисунке 6.2 с помощью диаграммы отобразим структуру затрат, составляющих себестоимость в общем бюджете проекта.



Рисунок 4.2. Структура затрат себестоимости проекта.

В результате выполнения работы был разработан макет установки для проведения эксперимента по исследованию вентильного электропривода. Техническое решение позволяет проводить испытания номинальных и переходных режимов работы. С помощью представленного стенда возможно производить проверку имитационных моделей на адекватность, проводить испытания вентильного двигателя в различных режимах работы.

Выводы по главе 4

В данной главе произведен расчет стоимости ресурсов научно-технического исследования (НТИ), оценки инновационного потенциала НТИ,

а также произведено описание «портрета» потребителя результата НТИ, составлен план выполнения работ.

В разделе были рассчитаны различные виды затрат, проанализирован бюджет затрат на научно-исследовательскую работу. Так же на основе исследований хотелось бы отметить, что коммерческий и инновационный потенциал данного проекта высок. Проект обладает высокой степенью перспективностью. Для реализации данного затраты минимальны, а практическая значимость весьма высока, сравнительно высокий уровень актуальности, возможности реализации по времени и масштабам применения.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

С развитием новейшей полупроводниковой техники появилась тенденция к исследованию новых перспективных электроприводов для их внедрения в опасные производственные механизмы. Основной целью работы является разработка и исследование вентильного электропривода. Требуется провести ряд исследований по тематике с целью выявления возможности применения данного типа электропривода в военной, химической и прочих важных областях промышленности. Под этим понимается изучение теоретических аспектов дисциплин электрические машины и электропривод, разработка математических моделей, описывающих электромеханические процессы, протекающие в электроприводе, обработка и анализ результатов моделирования. Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что основная работа выполняется непосредственно за компьютером, которой сопутствует соответствующий список вредных и опасных производственных факторов.

5.1. Описание технологического процесса и рабочего места

Научно-технический прогресс внес серьезные изменения в условия производственной деятельности работников умственного труда. Их труд стал более интенсивным, напряженным, требующим значительных затрат умственной, эмоциональной и физической энергии. Это потребовало комплексного решения проблем эргономики, гигиены и организации труда, регламентации режимов труда и отдыха.

В настоящее время компьютерная техника широко применяется во всех областях деятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей (диапазон радиочастот: ВЧ, УВЧ и СВЧ), инфракрасного и ионизирующего излучений, шума и вибрации, статического

электричества и др. [28]. Как было указано выше, основная часть научной работы выполняется за компьютером, в связи с чем далее будут рассматриваться аспекты, связанные именно с работой оператора за ПК.

В последние годы большое внимание уделяется улучшению условий труда пользователей электронно-вычислительных машин (ПЭВМ), несмотря на то, что качество и безопасность самих ПЭВМ постоянно улучшаются. В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Основным фактором, влияющим на производительность труда людей, работающих с ПЭВМ и ВДТ, являются комфортные и безопасные условия труда.

Условия труда пользователя, работающего с персональным компьютером, определяются:

- особенностями организации рабочего места;
- условиями производственной среды (освещением, микроклиматом, шумом, электромагнитными и электростатическими полями, визуальными эргономическими параметрами дисплея и т. д.);
- характеристиками информационного взаимодействия человека и персональных электронно-вычислительных машин.

Задачами научного сотрудника являются [29]:

- Проводить научные исследования и разработки по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы в качестве ответственного исполнителя или совместно с научным руководителем, осуществляет сложные эксперименты и наблюдения.

- Собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт, результаты экспериментов и наблюдений.
- Участвовать в составлении планов и методических программ исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов.
- Составлять отчеты (разделы отчета) по теме или ее разделу (этапу, заданию).
- Участвовать во внедрении результатов исследований и разработок.

Работе научного сотрудника за ПЭВМ сопутствуют соответствующие вредные факторы:

Основной фактор - это нагрузка на зрение. Именно из-за нагрузки на зрение через непродолжительное время у пользователя возникает головная боль и головокружение. Если работать на компьютере достаточно долго, то зрительное переутомление может привести к устойчивому снижению остроты зрения.

Вторым по вредности фактором, влияющим на здоровье при работе с компьютером, является стесненная поза. Из-за стесненной позы возникают следующие нарушения: затрудненное дыхание, боли в мышцах спины, шеи и головные боли, остеохондроз, заболевания суставов кистей рук.

Третий по важности фактор - это психическая нагрузка. Компьютер требует не меньшей сосредоточенности, чем вождение автомобиля.

Четвертым фактором можно выделить различные типы излучений, исходящих от ПЭВМ.

У современных мониторов приняты выдающиеся меры по обеспечению безопасности. От монитора исходит незначительное по интенсивности рентгеновское излучение (ионизирующее излучение), которое в 2-3 раза меньше естественного радиационного фона.

Вредными для человека являются другие виды излучений: постоянное электростатическое поле высокой напряжённости. Это постоянное электростатическое поле может быть вредно при заболеваниях глаз и кожи.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

5.2 Вредные производственные факторы

При эксплуатации электрических установок согласно ГОСТу 12.0.003-2015 “ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация” могут иметь место следующие факторы:

- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны;
- зрительное напряжение;
- монотонность трудового процесса;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная напряженность электрического поля;
- нервно-эмоциональные перегрузки.

Запыленность

Пыль - это мелкие и мельчайшие твердые частицы с размером от 0,2 до 100 мкм, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. С другой стороны, пыль - это один из производственных факторов, неблагоприятно влияющих на здоровье человека и вызывающих при длительном воздействии на организм ухудшение здоровья и профессиональные заболевания.

Гигиеническое нормирование. Основой проведения мероприятий по борьбе с производственной пылью является гигиеническое нормирование. Соблюдение установленных ГОСТом предельно допустимых концентраций (ПДК) — основное требование при проведении предупредительного и текущего санитарного надзора. Для воздуха рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. № 1 от 2000 г.) [30] установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ.

Систематический контроль за состоянием запыленности осуществляют лаборатории центров санэпиднадзора, заводские санитарно-химические лаборатории. На администрацию предприятий возложена ответственность за поддержание условий, препятствующих превышению ПДК пыли в воздушной среде.

Методы и средства защиты от пыли:

- внедрение непрерывных технологий с закрытым циклом (использование закрытых конвейеров, трубопроводов, кожухов);
- применение индивидуальных средств защиты (очков, противогазов, респираторов, спецодежды, обуви, мазей);
- применение пылеуловителей.

Освещенность

Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, кроме того, оно вызывает утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать выполнение работы без напряжения зрения. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03].

Освещение подразделяется на рабочее, аварийное и охранное. Рабочее освещение включает в себя общее стационарное, ремонтное и местное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру.

Ремонтное освещение необходимо выполнять от понижающего трансформатора 12-42 В [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03].

Таблица 5.1 - Нормы освещенности открытых участков территории ПС

Место, площадка	Плоскость в которой нормируется освещенность	Разряд и подразряд СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 -03	Освещеннос ть рабочей поверхности , лк
Помещения мастерских	горизонтальная	В-1	150
Шкафы и панели устройств РЗА	вертикальная	В	150
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	горизонтальная вертикальная	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	300 ÷ 500

Микроклимат

Микроклиматические условия (физические условия) - давление (не нормируется), температура, относительная влажность, скорость движения воздуха - влияют на самочувствие человека и вызывают определённые пограничные состояния. Человек реагирует на эти состояния через:

1. Механизм терморегуляции, то есть регулирование теплообмена с окружающей средой.

2. Сохранение температуры тела на постоянном нормальном уровне 36,6 °С, независимо от внешних условий и тяжести выполняемой работы. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару.

В СанПиН 2.2.4.3359-16 указаны оптимальные показатели микроклимата в производственных помещениях. Оптимальные показатели распространяются на всю рабочую зону, а допустимые устанавливают раздельно для постоянных и непостоянных рабочих мест в тех случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам невозможно обеспечить оптимальные нормы.

Таблица 5.2. Оптимальные величины параметров микроклимата на рабочих местах производственных помещений [Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"]

Период года	Категория работ по уровням энерготрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Іа (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	Іб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	ІІІ (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

Методы защиты: системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха и обогрева, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха и т. п [33, 30].

5.3 Опасные факторы

Среди опасных производственных факторов, сопутствующих трудовой деятельности научного работника, можно выделить следующие:

- Поражение электрическим током;
- Пожароопасность.
- Чрезвычайные ситуации (Эвакуация)

Поражение электрическим током

В процессе эксплуатации асинхронных двигателей персонал производит определенную работу в различных помещениях, которые согласно (ПУЭ-85 п. 1.1.13) классифицируются по степени опасности поражения людей электрическим током как помещения с повышенной опасностью. Требования, предъявляемые к таким помещениям следующие:

- все электрооборудование должно быть заземлено, для чего в этих помещениях должен быть смонтирован заземляющий контур.

- работу на электрооборудовании должны осуществлять специально обученный персонал с отметкой об этом в удостоверении.

Работа с электрическим током требует особой осторожности: электрический ток поражает внезапно, когда человек оказывается включенным в цепь прохождения тока.

Причины поражения электрическим током:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, ламповых патронов, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением;
- нахождение вблизи места соединения с землей оборванного провода электросети;
- нахождение в непосредственной близости от токоведущих частей, находящихся под напряжением до 1000 В;
- прикосновение к токоведущей части и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей;
- одновременное прикосновение к двум проводам или другим токоведущим частям, которые находятся под напряжением;
- несогласованные и ошибочные действия персонала (подача напряжения на установку, где работают люди; оставление установки под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.).

Опасность поражения электрическим током отличается от других производственных опасностей тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить ее на расстоянии. Часто эта опасность

обнаруживается слишком поздно, когда человек уже оказался под напряжением.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний характер. Проходя через тело человека, электрический ток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве и повреждении кровеносных сосудов; электролитическое — в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает нарушение ее состава, а также ткани в целом; механическое - в расслоении, разрыве тканей организма; биологическое - в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биологических процессов. Например, взаимодействуя с биотоками организма, внешний ток может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и вызвать непроизвольные сокращения мышц.

Существуют три основных вида поражения электрическим током: электрические травмы, электрические удары, электрический шок.

Электрическая травма - местное поражение тканей и органов электрическим током: ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, поражение глаз воздействием на них электрической дуги (электроофтальмия), механические повреждения.

Электрический ожог — это повреждения поверхности тела или внутренних органов под действием электрической дуги или больших токов, проходящих через тело человека.

Электрический удар - это возбуждение живых тканей организма проходящим через них электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

Электрический шок - своеобразная реакция нервной системы организма в ответ на сильное раздражение электрическим током: расстройство кровообращения, дыхания, повышение кровяного давления.

Шок имеет две фазы: I — фаза возбуждения. II — фаза торможения и истощения нервной системы.

К техническим мероприятиям относят:

- применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий;
- защиту персонала от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях. Изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки, защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;
- защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения;
- использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением;
- выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных;
- изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

Применение индивидуальных электротехнических средств подразделяют на основные и дополнительные изолирующие защитные средства, а также на вспомогательные приспособления.

Основные изолирующие защитные средства имеют изоляцию, способную длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки,

обеспечивая безопасность человека при контакте с токоведущими частями. К таким средствам относят:

- в электроустановках с напряжением до 1000 В — диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, а также указатели напряжения;

Дополнительные защитные средства не могут самостоятельно защитить человека от поражения электрическим током, но при совместном использовании они усиливают изолирующее действие основных защитных средств. К дополнительным средствам защиты при работе в электроустановках до 1000 В относят диэлектрические галоши, коврики, подставки и площадки.

Необходимо отметить, что при отсутствии какого-либо дополнительного средства защиты (например, диэлектрического коврика) нельзя применять ни одно из основных. Вспомогательные приспособления предназначены для защиты людей от сопутствующих опасных и вредных производственных факторов при работе с электрооборудованием.

Пожароопасность

Помещения по взрывопожароопасности В1 согласно *СП 12.13130.2009* Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Основными причинами пожаров исследуемого объекта являются [Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123]:

- причины электрического характера (короткие замыкания, перегрев проводов);
- открытый огонь (сварочные работы, курение, искры от автотранспорта и омедненного инструмента);
- удар молнии;
- разряд зарядов статического электричества.

Существенную роль в пожарной безопасности электроустановок играют правильный выбор и режим работы электрооборудования с учетом пожароопасности и взрывоопасности помещений, применение молниеотводов и отводов электростатических зарядов.

Выбор электрического оборудования для пожароопасных помещений, и наружных установок производится в зависимости от класса помещения по степени пожарной опасности согласно ПУЭ-85 гл.7.4.

В пожароопасных помещениях, как правило, применяются машины закрытого типа, защита и аппаратура в пыленепроницаемом исполнении. Для предохранения почвы от загрязнений сбросами масла, при аварии автотрансформаторов, предусмотрено сооружение закрытых маслосточков закрытого маслоуловителя. Водоотвод с площадки предусматривается открытой системой за счёт естественного уклона в сторону понижения рельефа местности.

На станции должны быть оформлены уголки пожарной безопасности и пожарные щиты. Для ведения надзора за соблюдением противопожарным режимом из числа инженерно-технического персонала должны быть назначены лица ответственные за пожарную безопасность [Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123].

При обнаружении возгораний или пожара оперативный персонал согласно регламента:

1. Вызывает пожарную команду.
2. Оповещает руководство станции.
3. Производит необходимые отключения и заземления оборудования.
4. Встречает пожарную команду, производит инструктаж по ПТБ.
5. Выдает разрешение (допуск) на тушение пожара.
6. Выдает средства защиты (диэлектрические перчатки и боты).
7. Заземляет пожарную машину.

В каждом цехе, лаборатории, мастерской должна быть разработана инструкция о конкретных мерах пожарной безопасности, противопожарном режиме и план эвакуации персонала из помещений.

Пути эвакуации персонала категорически запрещается загромождать оборудованием. На путях эвакуации устанавливаются указатели и световые табло.

Каждый случай пожара (возгорания) должен расследоваться в соответствии с «Инструкцией по расследованию и учету пожаров, происшедших на объектах энергетики» специально назначенной комиссией для установления причин, убытков, виновников возникновения пожара (возгорания) и разработки противопожарных мероприятий для других объектов.

Первичные средства пожаротушения согласно Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент *о требованиях пожарной безопасности*", предназначены для использования работниками организаций, личным составом подразделений пожарной охраны и иными лицами в целях борьбы с пожарами и подразделяются на следующие типы:

- 1) переносные и передвижные огнетушители;
- 2) пожарные краны и средства обеспечения их использования;
- 3) пожарный инвентарь;
- 4) покрывала для изоляции очага возгорания;

Правила поведения населения при эвакуации в случае ЧС

Разработчику всегда следует быть готовым к чрезвычайным ситуациям и следует знать, как следует вести себя при эвакуации в случае чрезвычайной ситуации.

Эвакуация является одним из способов защиты населения в период стихийных бедствий, крупных промышленных аварий и катастроф. Эвакуация заключается в организованном выводе (вывозе) населения из крупных городов, других населенных пунктов и размещение его в безопасных районах, а также выводе (вывозе) населения из зон возможного

катастрофического затопления, землетрясения, районов, которым угрожают селевые потоки, снежные заносы, крупные пожары и другие стихийные бедствия. О начале эвакуации населению объявляет местная администрация органов самоуправления. Получив извещение о начале эвакуации, каждый гражданин обязан: собрать все необходимые документы и вещи, паспорт, военный билет, документы об образовании и специальности, трудовую книжку, свидетельства о браке и рождении детей, страховые полисы, деньги, имеющиеся средства индивидуальной защиты, одежду и обувь приспособленные для защиты кожи, аптечку индивидуальную и другие лекарства, индивидуальный противохимический пакет, пакет перевязочный медицинский или другие перевязочные материалы, йод, комплект верхней одежды и обуви по сезону (в летнее время необходимо взять и теплые вещи), постельное белье и туалетные принадлежности, трехдневный запас продуктов.

Продукты и вещи сложить в чемоданы, рюкзаки, сумки или завернуть в свертки для удобства, переноски и транспортировки, к каждому переносимому предмету прикрепить бирку с указанием фамилии и инициалов, адреса проживания и конечного пункта эвакуации.

Уходя из квартиры, необходимо выключить все осветительные и нагревательные приборы, закрыть краны водопроводной и газовой сети, окна и форточки. К установленному сроку прибыть на эвакуационный пункт для регистрации и отправки в загородную зону или безопасный район.

В пути следования необходимо соблюдать установленный порядок, неукоснительно выполнять распоряжения старшего команды, быстро и грамотно действовать по сигналам оповещения. Эвакуируемые не имеют права самостоятельно, без разрешения местных эвакуационных органов, выбирать пункты и место жительства и перемещаться из одного района в другой. Они обязаны точно выполнять все указания местных органов власти. Все эвакуируемые должны оказывать друг другу помощь.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — документ, описывающий устройство, принцип построения, особые требования к отдельным системам, их элементам, узлам и коммуникациям электроустановок. ПУЭ не является документом в области стандартизации. ПУЭ распространяется на установки электрического освещения зданий, помещений и сооружений наружного освещения городов и другое.

Содержание:

- Область применения, определения
- Общие требования
- Открытые распределительные устройства
- Закрытые распределительные устройства и подстанции
- Внутрицеховые трансформаторные подстанции
- Столбовые (мачтовые) трансформаторные подстанции
- Защита от грозовых перенапряжений
- Защита вращающихся электрических машин от грозовых перенапряжений
- Защита от внутренних перенапряжений
- Пневматическое хозяйство
- Масляное хозяйство
- Установка силовых трансформаторов

В ПУЭ указывается все: начиная от правильной установки изоляторов, заземляющих ножей до различных видов блокировки.

Пожарная безопасность — состояние защищённости личности, имущества, общества и государства от пожаров. Обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших функций государства.

На территории Российской Федерации действуют следующие основные нормативные документы:

- Федеральный закон № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»;
- Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. N 390);
- Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность использования электроэнергии включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);
- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;
- проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;

- контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Выводы по главе 5

Организация рабочего места играет большую роль на трудовую деятельность работника. Правильные условия труда обеспечивают не только безопасность работника, но и повышают его производительность и эффективность. В разделе представлены вредные факторы, влияющие на рабочий персонал в ходе его работы, основные меры их профилактики и ликвидации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научной работы основные исследования были направлены на исследования вентильного электропривода в номинальных и переходных режимах работы. Был проведен анализ литературы по тематике исследования. Разработана математическая модель трехфазного вентильного электропривода, позволяющая исследовать рабочие и переходные режимы электропривода. Разработана имитационная модель, позволяющая исследовать переходные режимы в вентильном электроприводе.

Разработана схема регулятора напряжения для вентильного электропривода. Разработана схема вентильного электропривода. Рассмотрены различные вредные факторы, влияющие на работу проектировщика. Рассчитаны различные виды затрат, проанализирован бюджет затрат на научно-исследовательскую работу, по итогам всего проекта хотелось бы отметить, что данный проект является весьма стабильным и устойчивым, имеет минимальное количество угроз. Так же на основе исследований хотелось бы отметить, что коммерческий потенциал данного проекта высок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели - М.: Издательство МЭИ, 2003 - 70 с.
2. Королев В.В. Вентильно-индукторные электромеханические преобразователи в современном автомобиле // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: Междунар. научно-техн. Конф. ААИ. посв. 145-летию МГТУ «МАМИ». – Тольяти, 2010. – С. 3. – 54 с.
3. И.А Розаев, Однокопылов Г.И, «Моделирование вентильно-индукторного электроприво-да в аварийных режимах работы» // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 4. - С. 138-143
4. И.А Розаев, «Моделирование многосекционного Вентильно - индукторного электропри-вода», сборник материалов к I международному молодежному форуму «Интеллектуальные энергосистемы» Том 2, г. Томск, 22 октября 2013 г.
5. Отказоустойчивое управление вентильно-индукторным электроприводом, Розаев И.А., Однокопылов Г. И., Соснин С.К. Электронные и электромеханические системы и устрой-ства: тез. Докл. Науч.-техн. Конф. Молодых специалистов (Томск, 14-15 февр. 2013 г.) / ОАО «НПЦ «Полюс»». – Томск, 2013. – 268 с
6. Однокопылов Г.И., Образцов К.В., Однокопылов И.Г. Принципы обеспечения «живучести» электроприводов переменного тока. //Электричество. – 2009. – №12. – с. 51-57.
7. Розаев И.А, Однокопылов Г.И, «Моделирование вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах работы» // *Известия Томского политехнического университета*. - 2013 - Т. 323 -№. 4. - С. 138-143
8. Рябов Е.С. Моделирование тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком / Е.С. Рябов, Б.Г. Любарский, Д.И. Якунин, Д.Ю. Зюзин. // Вісник Національного технічного університету " Харківський політехнічний інститут". – 2010. – № 57. – С. 243–251.
9. Любарский Б. Г., Рябов Е.С. Моделирование электроприводов на основе реактивных индукторных двигателей в среде MatLab Simulink. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.
10. Браун М., Раутани Дж., Пэтил Д. Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления. – М.: Изд. «Додэка - XXI», 2007. – 328 с.: ил. (Серия «Силовая электроника»).

11. Дроздов А.В. Разработка системы бездатчикового векторного управления вентильно-индукторным двигателем с независимым возбуждением: автореф. канд. физ.-мат. наук. – Москва, 2008.
12. Патент РФ на полезную модель № 128420, МПК Н02Р 25/08, Н02Н 7/09, Н02Н 7/10, Однотактный импульсный регулятор напряжения для вентильно-индукторного электродвигателя/ Г.И. Однокопылов, И.А. Розаев, А.Д. Брагин - № 2012153524/07; заявлено 11.12.2012 г.; опубл. 20.05.2013 г. Бюл. №14.
13. Гришенцев А.Ю. Теория и практика технического и технологического эксперимента /учебное пособие.– СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.–102 с.
14. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
15. Гост 12.2.007.9-93. «безопасность электротермического оборудования. Часть 1. Общие требования»;
16. Ус А.Г., Елкин В.Д. Практическое пособие предназначено для курсового и дипломного проектирования для студентов дневной и заочной форм обучения специальностей 1-43 01 03 "Электроснабжение", 1-43 01 07 "Техническая эксплуатация энергооборудования организаций". - Гомель, 2004.
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. СНБ 2.04.05-98 Естественное и искусственное освещение. - Минск: Министерство архитектуры и строительства, 1998. - 59 с.
19. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., "Энергия", 1976.
20. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с. http://www.rabotka.ru/job_description/217.php Должностная инструкция научного сотрудника
21. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03), введенные в действие приказом МЧС России от 18.06.2003 № 313.
22. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования"
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
24. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.

25. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
26. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

Приложение А

Valve electric drive for a liquid pump of a fluid conditioning system of autonomous installations

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Сотников Николай Владимирович		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

INTRODUCTION

Electric motor drives of pumping plants and automatic ventilating machines present quite a large part of electric energy consumers.

A pumping unit is a hydraulic machine that causes the pressure flow, when it is supplied with energy. It consists of an electric drive with a pump and a transmission mechanism. The electric drive is an electromechanical system, which is made up of an electromechanical, converting, transmitting, and controlling units aimed at driving the actuator of a working machine and controlling its operation. In general, a pumping unit presents the equipment that ensures the operation of a pump in the required mode. This equipment consists of a pumping unit, pipelines, isolating and controlling valves, controlling and protective devices.

The modern production systems have a large number of various parts, individual machines and devices that perform a wide range of functions. All together they provide a certain process of production. It is necessary to understand the purpose of individual elements composing a machine as well as the requirements of a drive as a whole, since it is impossible to design and build a machine, as well as to maintain it in proper operation without understanding its operation principle.

One of the areas of applications of fluid pumps is the air conditioning system, related to life support systems, which ensure desired and comfort air temperature.

Construction and operation of water-cooled air conditioner

The water-cooled air conditioner consists of an outdoor unit, the condenser cooled by a fluid coolant (water or antifreeze) and an indoor unit with distribution of cooled or heated air. Such type of a construction allows installing the unit indoors and in places with an increased content of fine particles. Moreover, it allows using the circulating coolant as an additional source of thermal energy. Nevertheless, a pipe distribution system with a constantly circulating fluid must be installed in case of systems with water cooled condenser.

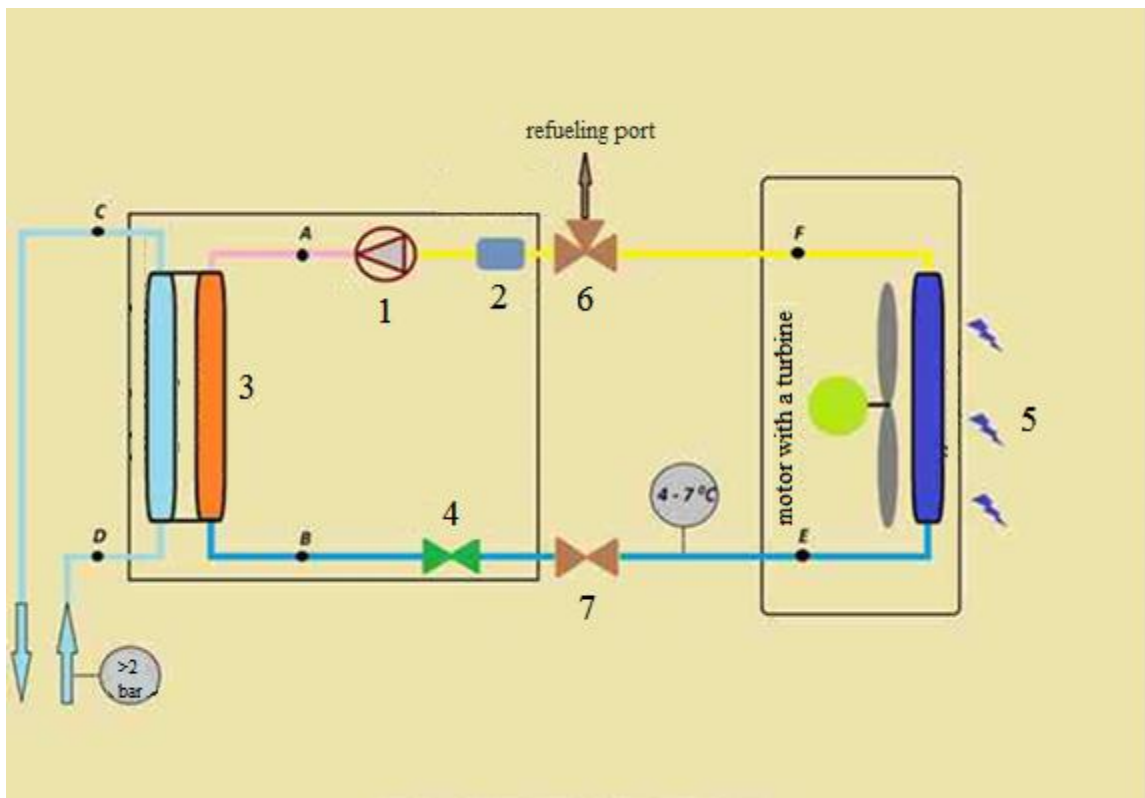


Figure 1. Functional diagram of a water-cooled air conditioner

The main structural component of a conditioner

The main differential feature of an air-to-water conditioner from split air-to-air system is the presence of a dual heat exchanger and the absence of a fan in the outdoor unit.

A cooling machine can be classified as hydraulic and electrical units. The hydraulic unit consists of:

1. A compressor which provides the freon movement in a closed loop circuit at pressure necessary for the heat exchange process.
2. A battery with filter, which accumulates the coolant and protects the internal parts of a compressor from oxidation and solid particles.
3. A dual heat exchanger, which facilitates the transfer of the coolant to the state of fluid.
4. A throttling device, which reduces the pressure of liquid freon to transfer it to the state of gas.
5. An evaporator, which cools the air.

6. A three-phase valve, which connects one part of the air conditioner with other;
7. A two-phase valve, which is connected to the pump line.
8. Piping system, which combines the above mentioned components of the system into a closed loop circuit.

Electric unit consists of:

- A controlling unit, which organizes the operation of a compressor and other electrical components of the system.
- A motor with a turbine, which carries out forced circulation of the cooled air.
- A temperature sensor – it controls the temperature of the coolant and the air in a room.
- A step motor, which moves the blinds in order to change the direction of air flow in the horizontal direction.

The principle of operation

The principle of operation of a cooling machine is based on the property of fluid substance to absorb heat in the process of evaporation, and to give off thermal energy in the process of condensation. Freon plays the role of such a substance. It transfers heat or cold from one place to another. It is necessary to consider how the process of heat transfer between blocks in a cooling mode is carried out in the case of operating compressor presented on Figure 1.

- “A-B”. Gas freon at high pressure moves through a condenser, condenses and heats the water.
- “C-D”. Water at pressure of 2 bars is transmitted to a heat exchanger, which is in a tight contact with a condenser. Then, it is heated and gave out heat in the heating system or other heat recovery points.

- “B-E”. Fluid coolant, passing through the throttling device, turns into a mixture consisting of gas (20%) and fluid (80%) due to the sharp decrease in pressure. The gas phase promotes cooling of freon to 4 - 7 0C.
- “E-F”. The cooled mixture, moving through the evaporator, is heated up due to the absorption of thermal energy of a room. At the point “F” it transforms into the gas.
- “F-A”. The heated gas is sucked in by a compressor, compressed and transmitted to a condenser under the high pressure.

In order to use the air conditioner in the heating mode, it is necessary to change the direction of coolant flow. The reverse freon motion is ensured by a special switch - a four-phase valve integrated in the water-cooled air conditioner.

Distilled water or antifreeze agents usually play the role of a heat transfer in air conditioning systems. Antifreeze agents are solutions of glycol (ethylene glycol, propylene glycol), water-based, enriched with additives. They acquire the necessary technological properties, the main of which are to prevent and lower crystallization temperature.

The features of electric drive operation as a part of a pumping unit

The independence of operation

For the operation of a pumping unit, the constant presence of service personnel is not required. Its entire role is reduced to periodic maintenance and elimination of possible malfunctions.

The possibility of remote control

At a large distance from an operator board, it remains necessary to constantly control the status and output parameters of a pumping unit (output pressure, fluid delivery volume, etc.), and the operator must be able to change them, if necessary.

The reliability of operation

A pumping unit must remain operational for certain system failures (short-term voltage failure, change in supply voltage, temporary overload, etc.).

There are variable speed and non-variable speed electric drives. The operation parameters of variable speed drives can be controlled by external commands. The variable speed electric drive is used in cases where it is necessary to control the operating mode of a pumping unit and a system in general. The most advanced type of variable speed electric drive is one of direct current (DC), in which the regulation is carried out by changing the mean value of dc voltage applied to motor armature. Nowadays a thyristor converter is used as a source of variable DC voltage. Such type of electric drives is called thyristor drives. Also one of the brushless variants of DC motors is a brushless dc motor drive. Here, the process of regulation is carried out by pulse-width modulation of the voltage applied to a stator.

1. Analysis of technical task

1.1 Technical task

- Supply voltage of alternating current - V 380V, 50 Hz;
- Supply voltage of direct current - 220V;
- Rated motor speed - 3000 r/pm;
- Variable speed range of a motor- 300-3000 rpm;
- Rated power of an electric drive (at rated speed) - 5,5 kW;
- Starting current is not more than - 60A;
- Mode of operation - S1;
- Type of load is fan (the torque is proportional to the square of the speed of rotation).

2 Choice of the type of electric motor drive

In accordance with technical assignment the developing electric motor drive should comply with the following parameters:

- No collector-and-brush junction;
- High starting torque;
- Wide range of regulation with the stabilization of rotation speed of a rotor;
- Long – term operation (S1);
- Long operation life;

The first of the main criteria, which sharply circled in potential types of electric drives, is the absence of a brush-collector junction. The choice is reduced to two types of motors: an induction with a squirrel-cage rotor and a brushless dc electric drive.

Asynchronous induction motor has a number of disadvantages, which a brushless dc electric drive does not have; they are as follows:

- High starting currents, high ratio of starting currents to rated currents, at high starting torque;

- Low starting torque, during the attempt to reduce the starting current;

On the basis of the above-mentioned aspects the brushless dc electric drive is chosen, as it meets the requirements of the technical assignment.

The main peculiarities of brushless dc electric drive

Advantages:

- High speed and dynamics, positioning accuracy;
- Wide range of rotation speed variation;
- Brushless design absence of components requiring maintenance - brushless machine;
- Possibility of usage in explosive and aggressive environment;
- Greater overload capacity;
- High energy performance;
- Long life cycle, high reliability and increased operational life due to the absence of sliding electrical contacts;
- Low motor overheating during the operation in modes with possible overloads.

Disadvantages:

- Relatively complex system of motor control;
- Relatively high price, due to complex electronic control system;

However, the use of an expensive electronic control system is inevitable during the speed regulation of any of the existing types of electric motors.

2.2. The description of brushless dc electric drive and the principle of its operation

The brushless dc electric drive is the continuation of the development of direct current (DC) machine. However, this motor should not be considered as novelty. The idea of a motor without a brush-collector junction appeared at the

dawn of electricity, but due to the unavailability of technology it was not implemented. The first scheme of brushless dc electric drive (BLDCED) was proposed by Kern in 1933. Later in 1962, the first commercial brushless DC motor was created. Brushless dc electric drives started to evolve with the development of electronics and in particular with the advent of power semiconductor devices.

A brushless dc electric drive is also called Brushless Direct Current Motor (BLDCM) or Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) drive.

Here the role of a brush-collector junction is played by power semiconductor switches alternately switching the stator windings depending on the position of a rotor.

A brushless dc electric drive consists of a rotor with constant magnets torque and a stator with windings (Figure 1).

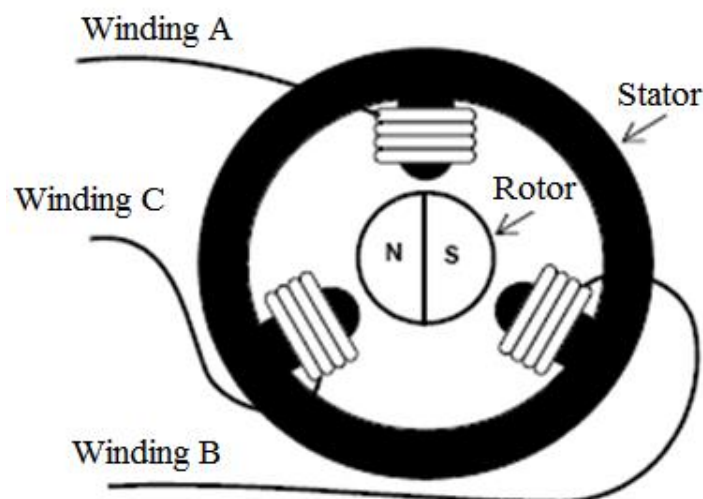


Figure 1. Brushless dc electric drive

In general a BLDCED presents a complex of electric and mechanical devices. It is presented by the combination of a simple electric machine and electric control system.

Advantages and disadvantages

The collector is removed from the construction of a motor. As the result the construction of a motor becomes simple. A motor becomes lighter and more compact. The loss on commutation significantly reduces, since the collector and brush contacts are replaced by electronic switches. As a result, an electric motor

with better efficiency, power parameters and wider range of rotation speed variation is developed.

Brushless motors are less heated than collector ones. The brushless motors became even more compact due to powerful neodymium magnets. The construction of a brushless motor allows operating it in water and aggressive environments. The brushless motors almost do not cause radio interference.

The only disadvantage of such type a motor is a complex and expensive electronic control unit (ECU). However, it is impossible to control the speed of motor rotation without an electronic control unit.

A rotational torque is formed in a loop during the process of current flow:

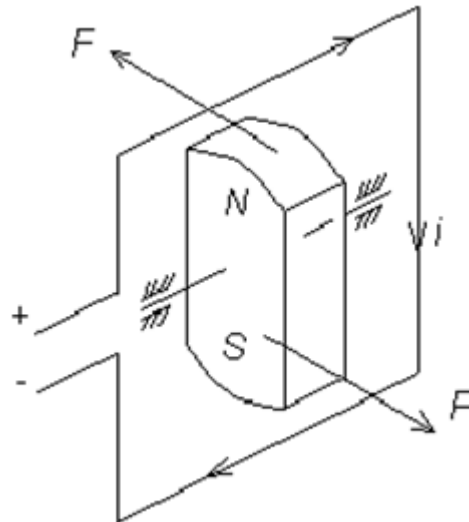


Figure 2. The formation of rotational torque

$$M = \frac{B \cdot S \cdot W \cdot i \cdot \cos \alpha}{9810} \quad (1)$$

where: B - magnetic flux density; S-loop surface, sm^2 ; W- number of loop turns; i-current, A; α - angle between magnetizing force and current loop.

This torque turns a rotor for 90 degrees.

In the brushless dc motor, 3 windings are located in a stator. The windings are connected depending on the position of a rotor and with the respect to a stator. The speed and torque are determined by the supply voltage. There are 3 windings in a stator of brushless dc electric motor. The windings are connected according to

the position of a rotor. When the supply voltage is constant, the speed of rotation is unchangeable.

The control of windings is performed by means of transistorized connection circuit (Figure 3). The torque of motor shaft is defined as follows:

$$M = M_{\max} \cdot \sin \theta \cdot K$$

where: θ - is the angel between F_0 -vector and F_{AB} ; $M_{\max}=F_0 \cdot F$; $K= 1/9810$.

The highest value of motor torque is reached, when: $\theta = 90^\circ+30^\circ$

The system of automatic control (Figure 3) ensures simultaneous operation of transistor switches, which in its turn ensures simultaneous operation of stator windings of a rotor.

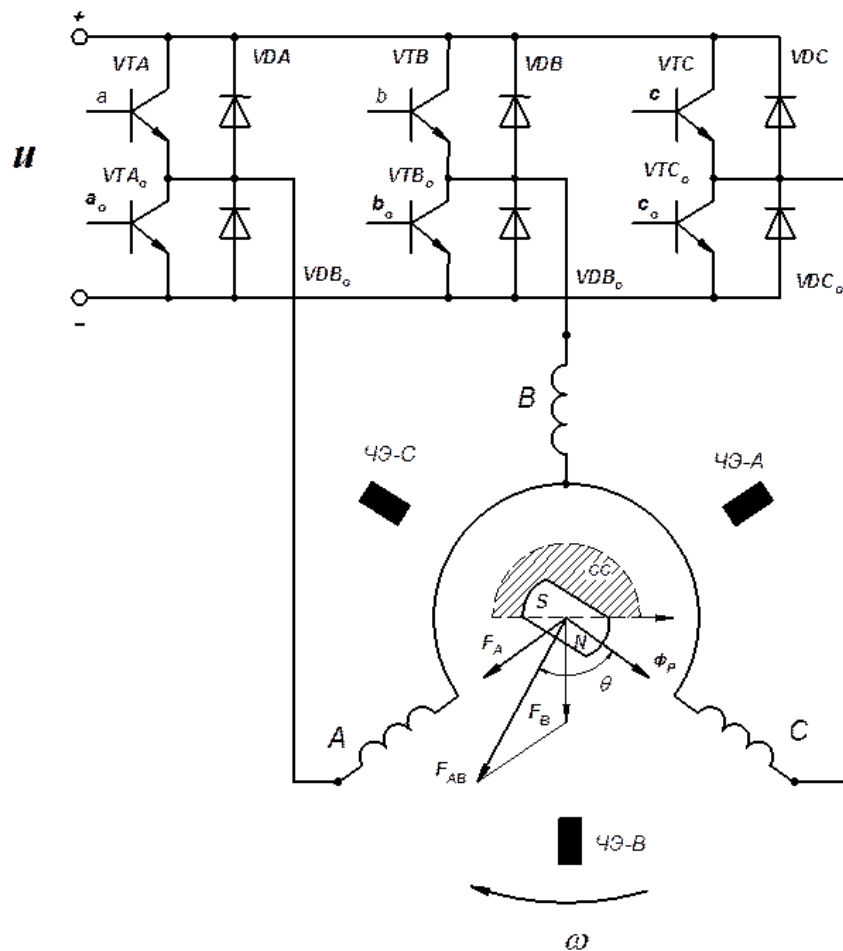


Figure 3. Brushless dc electric motor. Electric functional circuit. The formation of magnetizing force.

A resolver (Figure 4) is used as a rotor position sensor.

A resolver is a measuring electric machine to convert the angle of rotation into an electrical voltage. In a rotation transformer, a rotor consists of transformer coil (winding), which together with stator windings form a transformer. There are three windings in a stator, located with shift of 120 degrees.

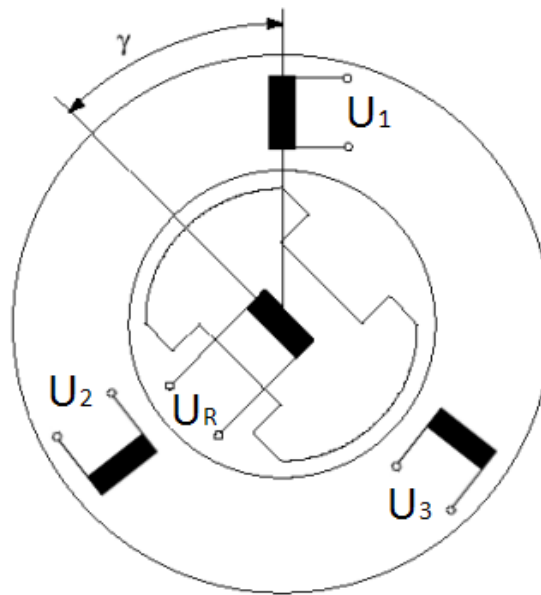


Figure 4. Constructional scheme of a rotation transformer

A brushless rotation transformer (Figure 6) is used in this research. In brushless rotation transformers the windings of a rotor is supplied by means of two ring transformers (RT).

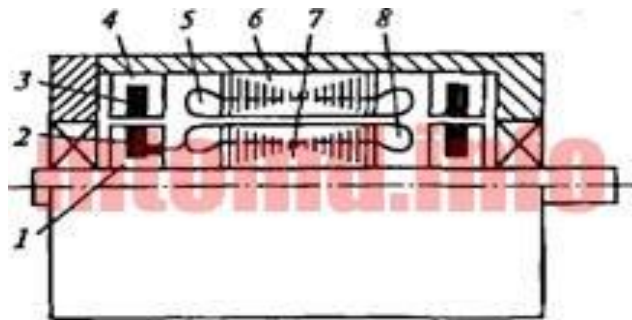


Figure 6. A brushless rotation transformer

1 — rotating magnetic circuit; 2 — rotating winding;

3 — fixed winding; 4 — fixed magnetic circuit;
 5 — stator winding; 6 — stator magnetic circuit;
 7 — rotor magnetic circuit; 8 — rotor winding

2.3 Choice of a type of rectifier

2.3.1 General principles of rectifier construction

The production and distribution of electrical energy is carried out generally on alternating current, due to the simplicity of voltage transformation. However, a significant part of produced electricity (30-35%) is used on direct current.

A device that converts AC to DC is called a rectifier.

2.3.2 The structure and classification of rectifiers

The structure of a rectifier is presented on the Figure 1.1. It consists of:

- power transformer;
- semiconductor unit;
- filter unit;
- load circuit.

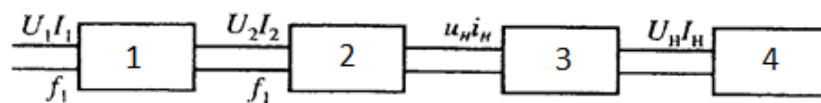


Figure 1.1. The structure of a rectifier

A power transformer adapts the input and output voltages of a rectifier. There are different connections of transformer windings in accordance with

various rectification circuits. The voltage of secondary winding of a transformer U_2 determines the value of the rectified voltage U_H .

The usage of autotransformer is possible when the ratio of transformation is less than 2.

The advantages of autotransformer:

- Minor weight (in comparison with ordinary transformers);
- Minor sizes;
- Higher efficiency;
- The loss in electricity is lower.

A rectifier unit rectifies alternating current connecting secondary voltage of the corresponding phase of a transformer to direct current circuit. At the output of the unit, a constant dc voltage with a high level of pulsations is obtained. This voltage is determined only by the number of phases of the supply and the chosen rectifying circuit.

A filter unit provides the required pulsation level of rectified current in a load circuit. A filter unit is usually connected in series resistor or smoothing-inductor and parallel capacitor. Sometimes the construction of a filter unit may be more complex. When the rectifying circuit is multiphase (often three-phase), the level of pulsations decreases, and the operating conditions of a filter unit facilitate.

Semiconductor rectifiers may be grouped according to the following characteristics:

- 1) Power output (low power – up to 600 Wt, medium power – up to 100 kWt, high power – more than 100 kWt);
- 2) Number of supply phases (one phase, multiphase);
- 3) Pulse number (p) of a rectifier;

4) Number of constant pulses in the curve of rectified voltage U_2 during the period of supply voltage:

- halfwave;
- fullwave;
- m- half-period.

The rectifiers can be made on control semiconductor switches (thyristors, transistors) and uncontrolled semiconductor switches (diodes).

There are following modes of rectifier operation according to the rectifier load:

- a) Active load mode;
- b) Active-inductive load;
- c) Active-capacitive load;
- d) Load with counter EMF.

The choice of rectifier circuit depends on the number of factors depending on the requirements for rectifier device. These factors are as follows:

- Value of the rectified voltage and power;
- Frequency and the value of pulsation of rectified voltage;
- Number of diodes and the value of reverse voltage;
- Efficiency;
- Power factor and other energy parameters.

Electromechanical and electromagnetic processes in electric drive greatly affect power quality and the operation mode of energy sources. In this regard, the

issue of electromagnetic and electromechanical compatibility and effective algorithms of controlling electric drives is relevant for autonomous devices.

Negative effects reducing the quality of electrical energy occur, when powerful converters are supplied from an autonomous power source. Under real conditions the harmonics of non-canonical orders occur in the conversion system. They change the amplitude-frequency spectra of voltages and currents at the input and output of converters.

The causes of harmonics occurrence are associated with various destabilizing factors, such as: unbalanced voltage of supply, high-frequency pulsations, control asymmetry, dynamic modes.

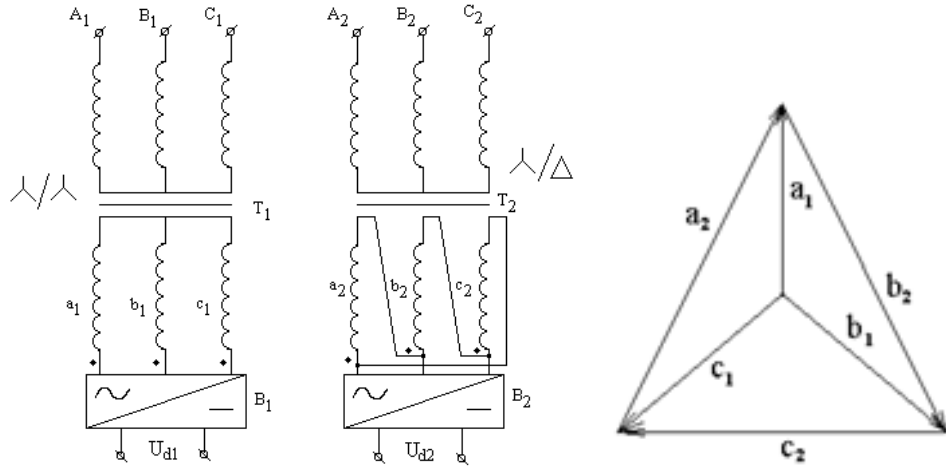
The values of phase and amplitude of current harmonics are random in their nature, as they depend on the control and commutation angles. This random nature complicates the solution of the problem of electromagnetic compatibility. Moreover, the harmonics generated in the converters of electric power system lead to energy losses, accelerated aging of insulation, the decrease in power factor and rotation torque on the shaft of asynchronous motors.

The one of the solution of this problem is the use of rectifiers and filters in frequency converters.

In most cases the static filters are used. The resonant filters are used in non-autonomous power supply.

The most common way in solution of this problem of electromagnetic compatibility is the increase in the pulse rate of rectification circuit.

In order to increase the power of rectifying devices, the rectifiers are connected in series or in parallel. In combination of two ways of the transformer connection the windings in the primary or secondary circuits of rectifier are connected in parallel or in series. As the result the pulsation of devices is doubled.



When a rectifier is created on a three-phase circuit ($p = 6$), the 12-pulse rectifier circuit is obtained. During the process of the supply of bridges with voltages shifted in phase by an angle of $\pi/6$ (30°), the pulsation of the output voltages of bridges B1 and B2 are also shifted by 30° .

When calculating the transformer for a 12-pulse rectifier, we need to take into account that phase voltages are transferred from the primary circuit of a transformer to the secondary one. In a three-phase bridge rectifier, the line voltage of a transformer is transmitted to the load. Therefore, in order to match the rectifiers in the secondary circuit of a transformer Δ -connected, it is necessary to increase the number of loop windings of phase windings of the secondary circuit by $\sqrt{3}$ times (in the “star”: $U_{\pi} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$; in “triangle”: $U_{\pi} = U_{\phi}$).

Figure 5 shows the comparison of time dependences of rectified voltage in a 6-pulse and 12-pulse rectifiers.

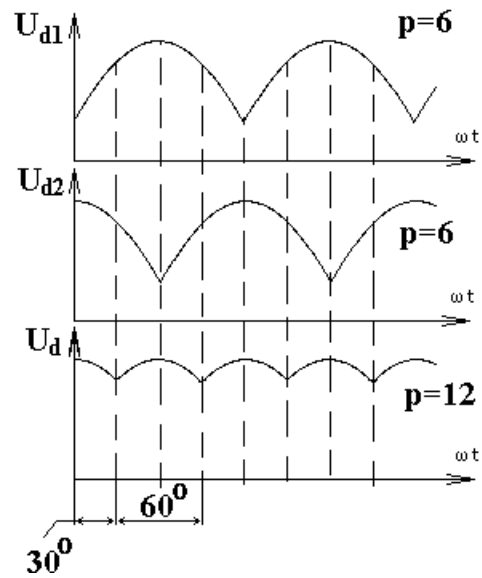


Figure 5. Relation between voltage and time

Based on analysis we've chosen brushless ds electric drive. As shaft position sensor a resolver was chosen.

References

- [1]Stekolnikov Yu.I. Fault-tolerance of electrical systems. Saint-Petersburg: Polytechnica Publ., 1987. 240 p.
- [2]Odnokopylov G. I. , Rozaev I. A. Formation of failure matrix and failure-free control algorithm for multi-sectioned Switched-reluctance drive (Article number 012035) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-7
- [3]Alyamkin D.I. Development and research of two-phase Switched -reluctance electric drive of hot water pumps: p.h.d abstract. - Moscow, 2012. - 20 p.
- [4]Bukreev V., Odnokopylov G. and Rozayev I. 2013 RF Patent № 128409
- [5]Rozayev I. and Odnokopylov G. 2013 Bulletin of Tomsk Polytechnic University **6** p. 138
- [6]Kuznetsov V.A., Kuzmichev V.A., Switched-reluctance motors. Moskow: MEI Publ., 2003. 70 p.
- [7]Krishnan R. 2001 Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications. BocaRaton: CRCPress 416
- [8]Irimia N., Simion A., Livadaru L. et al 2001 Study of a 3 phase (6/4) switched reluctance motor control. Iași: Buletinul AGIR 6 pp 129-134, Oct./Nov.